

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

Diseño de una válvula para reutilización de globos meteorológicos

José María Moreno Iváñez de Lara

Tutor

Óscar Raúl Enríquez Paz y Puente

Lugar y fecha de presentación:

Aula 7.2.J03, campus de Leganés de la UC3M.
3 de julio de 2019



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de fin de grado consiste en diseñar e implementar un sistema de extracción del helio contenido en un globo meteorológico, para la reutilización del mismo.

Todos los días se lanzan casi 1800 globos meteorológicos elásticos que ascienden y se expanden hasta explotar. Después de que el globo revienta, el paquete cae y se recuperan los datos recopilados durante la subida, que se utilizan para realizar las predicciones atmosféricas. Esto significa que los globos tienen un único uso, y dado que su coste unitario es de 100€ aproximadamente, el uso de un dispositivo que permitiese reutilizarlos, aunque solo sea un número limitado de veces, significaría un ahorro considerable en el lanzamiento.

Como solución de diseño se ha optado por la implementación de una pequeña electroválvula, fabricada a partir de piezas impresas en 3D, conectada a la boquilla, de manera que antes de explotar, se abra permitiendo la salida del gas contenido en el interior y haciendo que el globo descienda. De forma añadida, el sistema podría ser capaz de controlar la velocidad de ascenso y descenso con ciertas limitaciones.

Durante el diseño, se han superado los distintos retos que presenta la fabricación de un objeto que trabajará bajo las condiciones de la estratosfera. Para ello, se han analizado diversas opciones de colocación, fabricación, arquitectura y electrónica para la válvula, realizando ensayos de relajación de globos de látex y de permeabilidad.

Además se han comparado diversas opciones de válvula con diseño propio mediante tablas multicriterio, así como distintos motores eléctricos que accionen el mecanismo de cierre con su circuito de control.

Como resultado del TFG, se ha fabricado un prototipo de válvula con una impresora 3D, cuyas piezas se han cubierto con esmalte sintético para asegurar la ausencia de fugas de aire. La válvula, accionada por un motor DC con reductora, se conecta por cable a un circuito de relés controlado y alimentado por un microcontrolador Arduino. El circuito permite el giro del motor en ambos sentidos (posibilitando la apertura y cierre con el mismo circuito). Todo ello con una masa inferior a 150g, reduciendo la carga máxima del paquete lo mínimo.

Palabras clave: Globo Meteorológico, Reutilización, Válvula, Electroválvula, Arduino

DEDICATORIA

A Oscar Enríquez, por aceptar la propuesta de este TFG y aconsejarme y guiarme en los momentos más duros durante su realización. Así mismo a los técnicos del laboratorio, al maestro de las gotas Zürcher y al genio de la escoba Nacho, por todas las horas de laboratorio invertidas juntos, con sus malos y buenos momentos.

A mis amigos, por las horas disfrutadas juntos ya sea en la biblioteca, en un bar, en una casa o incluso a través de un micrófono.

Por supuesto, agradecer a toda mi familia su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, y por enseñarme los valores que hacen de mí la persona que soy. En especial dar las gracias a mis padres y hermanos, no sé cómo expresar lo imposible que habría sido llegar hasta aquí sin ellos.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Motivación del trabajo	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Marco regulador	3
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	5
2.1. Funcionamiento y tipos de globos	5
2.1.1. Disposiciones del paracaídas	7
2.2. Situación actual.	8
2.3. Problemas del entorno	9
3. DISEÑO DE LA VÁLVULA.	12
3.1. Disposición de la válvula	12
3.1.1. Ensayo de relajación del látex.	14
3.2. Material y fabricación	16
3.2.1. Ensayo de permeabilidad	17
3.2.2. Postratamientos para la estanqueidad.	19
3.2.3. Material y fabricación escogidos	20
3.3. Arquitectura del sistema.	20
3.3.1. Métodos para mantener cerrada la válvula.	22
4. DISEÑO DE LA ELECTRÓNICA	27
4.1. Servo motor.	27
4.2. Motor DC	28
4.2.1. Comunicaciones	28
4.3. Motor paso a paso	31
4.3.1. Comunicaciones	32
4.4. Circuito y componentes	33
5. PROTOTIPO FINAL	36
5.1. Sistema de cierre	36
5.2. Sujeción del motor	37

5.3. Propiedades de impresión	38
5.4. Ensamblado.	38
5.5. Montaje en el globo	40
5.6. Ventajas y limitaciones	41
5.6.1. Control de velocidad.	41
5.6.2. Reutilización del material	42
6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	44
6.1. Líneas futuras.	46
7. PLANIFICACIÓN DEL TFG Y PRESUPUESTOS	48
7.1. Diagrama de Gantt	48
7.2. Presupuestos	49
7.2.1. Coste del personal	49
7.2.2. Coste del material	50
7.2.3. Costes totales	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXO I: ENSAYO DE PERMEABILIDAD.	
ANEXO II: PLANOS.	
ANEXO III: CÓDIGO ARDUINO DE LOS ENSAYOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Globo meteorológico instantes después de explotar	7
2.2	Disposiciones del paracaídas	8
2.3	Disposición de las bandas energéticas	10
3.1	Medidas para el ensayo de relajación del látex	14
3.2	Esquema de una válvula antirretorno	21
3.3	Esquema del diseño a utilizar	21
3.4	Perfiles de la válvula con cierre por muelles	23
3.5	Esquema del válvula con mecanismo biela-manivela	23
3.6	Perfiles de la válvula con cierre por husillo	24
4.1	Motor DC con reductora	28
4.2	Conector hembra y macho de tipo RCA	29
4.3	Arduino micro y módulo bluetooth HC-06	30
4.4	Driver controlador y motor paso a paso	31
4.5	Esquema electrónico de un puente h	34
4.6	Esquema electrónico de un puente h con relés	34
4.7	Conexiones del circuito al arduino	35
5.1	Dibujo de la tuerca dentro del pistón	36
5.2	Acoplador entre el motor y la rosca	37
5.3	Explosionado de la válvula	39
5.4	Ensamblado del prototipo	40
7.1	Diagrama de Gantt	49

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Resultados ensayo de relajación en globos de látex	15
3.2	Resultados prueba de permeabilidad	18
3.3	Tabla multicriterio de diseños	26
4.1	Masas de componentes del motor DC con módulo inalámbrico	30
4.2	Masas de componentes de stepper con módulo inalámbrico	32
6.1	Desglose de masas de la válvula	44
6.2	Coste de materiales de la válvula	45
7.1	Coste del personal	50
7.2	Coste materiales	50
7.3	Costes totales	51

1. INTRODUCCIÓN

La predicción meteorológica es un tema que ha presentado un gran interés a lo largo de la historia. En los comienzos de la humanidad estos fenómenos se atribuían a entes superiores, y no fue hasta la Antigua Grecia cuando se comenzó a enfocar el problema bajo un punto de vista más científico. Sin embargo, las leyes científicas del modelo Aristotélico y la precisión de los instrumentos de medida usados, distaban mucho de los que utilizamos hoy en día. No fue hasta finales del siglo XIX, con la invención del telégrafo, cuando se comenzó a realizar previsiones atmosféricas (aun así, con grandes limitaciones). Este instrumento, unido a otros como el termómetro y el barómetro permitieron dibujar un mapeado de las condiciones meteorológicas en un amplio terreno. No obstante, estas medidas se limitaban a la superficie terrestre, lo que producía que estas previsiones se limitasen a la previsión de menos de 24h y careciesen de precisión.

A principios del siglo XX el físico noruego Vilhelm Bjerknes (1862-1951), un revolucionario de la meteorología, propuso abordar el problema desde las tres dimensiones del espacio. Para ello realizó el lanzamiento de globos llenos de helio que ascendían y recopilaban datos de la atmósfera, los cuales se recuperaban tras su caída a tierra con un paracaídas, una vez que el globo estallaba. Sin embargo, tal y como este científico predijo, se encontraban con grandes limitaciones tanto tecnológicas como matemáticas para la predicción del tiempo. A mediados del siglo XX, con el desarrollo de la computación numérica y el lanzamiento de los primeros satélites meteorológicos (1960), las predicciones comenzaron a cobrar una mayor precisión y exactitud, consiguiendo aumentar su utilidad en un gran número de campos.

A pesar del gran avance que se ha realizado a lo largo de los años con la puesta en órbita de nuevos satélites meteorológicos, estos aún no son capaces de recolectar una gran cantidad de variables con la suficiente exactitud como para depender de ellos. Es por ello que se han perfeccionado las técnicas de recolección de datos en tierra, mediante el lanzamiento de globos sonda que son capaces de tomar medidas mucho más fiables que las obtenidas por otros métodos.

En este trabajo de fin de grado, se tratará el diseño e implementación de un sistema de extracción del helio contenido en un globo meteorológico, de forma que permita el control de la velocidad de ascenso y descenso, así como la posible reutilización del mismo. Para ello, se diseñará una pequeña válvula que irá conectada a la boquilla del globo, de manera que antes de que este explote, se abra permitiendo la salida del gas contenido en el interior y con ello se reduzca el estrés sufrido por el mismo.

1.1. Motivación del trabajo

Dos veces al día, los 365 días del año, casi 900 globos sonda son lanzados desde todas partes del mundo para recoger datos de la atmósfera [1]. Antes del lanzamiento de un cohete para poner objetos en órbita, globos meteorológicos son lanzados cada 10 minutos para comprobar el estado de la atmósfera continuamente.

Sin embargo, a pesar de la cantidad de globos meteorológicos que se lanzan a lo largo del día, estos son de un solo uso, lo que genera que una buena parte del presupuesto del lanzamiento se gaste aquí. El coste de un globo de tipo genérico (uso civil) se sitúa en torno a 120 euros, además la cantidad de instrumentos que se pueden introducir a bordo son muy limitados, debido a que cuánto más peso, menor altitud final alcanzará el paquete. Recordando que este globo solo se podrá usar una sola vez, parece clara la ventaja que supondría poder crear un sistema que permitiese reutilizarlo.

Otra ventaja de la implementación de una válvula en un globo meteorológico es la posibilidad de controlar la velocidad de descenso del mismo: Los globos generalmente ascienden a una velocidad constante hasta que revientan, y el paquete cae en caída libre, frenando en la parte más baja de la atmósfera con un paracaídas. Esta caída libre impide que la toma de datos en la bajada sea válida, debido a que el ruido presente en las medidas es demasiado alto. No obstante, con un sistema que pudiese expulsar helio del interior del globo, se podría reducir la velocidad de ascenso del globo hasta lograr que éste se mantuviese en una altura constante durante el tiempo que fuese necesario. Por otra parte, el sistema podría controlar la cantidad de helio contenido por el globo haciendo posible realizar el descenso a una velocidad controlada. Esto permitiría recoger datos con mayor precisión y durante un mayor periodo de tiempo.

1.2. Objetivos

El objetivo principal del proyecto consiste en el diseño e implementación en tierra de un sistema que permita reutilizar un globo meteorológico. Debido a que existe una gran variedad de tamaños y materiales usados en los globos meteorológicos, nos centraremos en un globo meteorológico de 1200g suministrado por “high altitude science”, en el cual se instalará el módulo de recuperación. Para que el sistema pueda ser de utilidad deberá de cumplir una serie de requisitos:

1. El sistema deberá de ser lo más ligero posible, de forma que no lastre el cometido del proyecto. Como referencia a seguir, se establece un límite de 300g de peso máximo del dispositivo completo.
2. Deberá ser un sistema fiable, que aguante las condiciones meteorológicas presentes en el ambiente (temperaturas del orden de -60°C , bajas presiones externas, radiación solar...), y en caso de fallo sea capaz de minimizar los daños.

3. El sistema deberá tener un coste reducido, dado que la principal finalidad del proyecto es la de poder reducir gastos. De esta manera el coste del sistema deberá de ser menor que el coste ahorrado, teniendo en cuenta el número de veces que se pueda reutilizar el globo.
4. Por último la técnica deberá de satisfacer todas las normativas requeridas para adquirir los permisos necesarios legalmente para lanzar un globo sonda.
5. Como objetivo secundario, se intentará que el sistema sea capaz de controlar al mismo tiempo la velocidad de ascenso y descenso del globo.

Para cumplir esta serie de requisitos, se dividirá el proyecto en distintos problemas a resolver, siempre teniendo en cuenta los objetivos mencionados. Finalmente, la fusión de las soluciones generará el producto final.

1.3. Marco regulador

La normativa del lanzamiento de globos sonda está regulada por el Real Decreto 1180/2018 [2], de 21 de Septiembre, en donde se habilita el lanzamiento de globos libres no tripulados y globos de helio siempre que las características del mismo estén conforme con las normas SERA [3] (Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air), concretamente con las regulaciones establecidas en el capítulo 1 de la sección 3 del documento, referente a los globos libres no tripulados (SERA.3140). En esta norma se establece que un globo debe ser operado de manera que minimice los riesgos a las personas, propiedades y otros objetos voladores.

En este apéndice se clasifican los globos en tres categorías: ligeros, medianos y pesados. En nuestro caso supondremos que nos encontramos en el caso de un globo pesado, debido a que suponemos que el paquete principal tiene una masa superior a 2kg, y es a la categoría que se le establecen mayor cantidad de restricciones. Dentro de la normativa que debe cumplir el globo meteorológico, destacamos los siguientes puntos, traducidos al español directamente de la fuente:

- Un globo libre no tripulado, no debe ser operado de manera que el impacto del globo, o cualquier parte del mismo, incluyendo la carga, con la superficie de la Tierra, cree un riesgo para alguna persona o propiedad. 2.5 – Apéndice 2 – SERA.3140
- Un globo libre no tripulado pesado, no debe operar a no ser que: esté equipado con al menos dos dispositivos de terminación de vuelo, (...) que actúen independientemente el uno del otro. 3.3-(a) – Apéndice 2 – SERA.3140
- El operador de un globo libre no tripulado pesado deberá activar las medidas apropiadas de terminación del vuelo referidas en el punto 3.3 del apéndice cuando:

1. Se conozcan que las condiciones meteorológicas son peores de las requeridas para la operación.
 2. Algún tipo de fallo u otro motivo pone en riesgo la operación del tráfico aéreo o a las personas o propiedad en la superficie
 3. Se vaya a entrar en una aérea de vuelo no autorizada de otro territorio.
4. – Apéndice 2 – SERA.3140

Estas medidas deberán tenerse en cuenta a la hora de realizar el diseño. En ningún momento ni en el Real Decreto, ni en las normas SERA, se mencionan las cargas que modifiquen el funcionamiento nominal del globo – esto es, las cargas que varíen la rutina del globo de ascender, hincharse, explotar y caer – por lo que se tratará el dispositivo de reutilización como una carga extra normal.

Uno de los dispositivos de terminación de vuelo que se utilizan comúnmente es el desenganche del globo. Este desenganche de seguridad es un modo de que, en caso de ser necesitado, el paquete se suelte del globo y caiga. La forma más utilizada de realizarlo, es una pequeña carga térmica la cual quema la cuerda que une el paquete con el globo. Dado que este método es uno de los más usados para todos los tipos de globos sonda, el sistema se diseñará de manera que sea compatible.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este apartado se describirá el contexto del funcionamiento y las tecnologías utilizadas en los globos meteorológicos, así como con los proyectos anteriores que persiguieron el mismo objetivo que este.

2.1. Funcionamiento y tipos de globos

Hoy en día, cuando pensamos en un globo meteorológico, pensamos en un globo enorme de latex, lleno de helio. Sin embargo, el primer globo meteorológico no tripulado, el cual se lanzó hace más de 100 años, era muy diferente. Gustave Hermite, aeronauta y físico francés (1863-1914), preparó una especie de globo aerostático en miniatura con papel encerado y utilizando como combustible metano e hidrogeno principalmente. El combustible al quemarse en una reacción exotérmica calentaba el aire que, al ascender, elevaba consigo la carga.

A día de hoy se ha cambiado mucho el diseño utilizado en los globos meteorológicos, pero el principio físico que las respalda es el mismo, y para entenderlo hay que conocer dos conceptos. El primero es el principio de Arquímedes. El principio afirma que cualquier objeto que se introduzca en un fluido se ve afectado por una fuerza - conocida como fuerza flotante - de sentido opuesto a la gravedad, de magnitud igual al peso del fluido desplazado. Esto se puede comprender muy bien con los líquidos; En un vaso con agua y aceite el aceite, al ser el fluido menos denso subirá a la superficie. Este fenómeno también se produce en el globo de Hermite, ya que es el motivo por el que el aire caliente asciende: un gas a presión constante al calentarse se reduce su densidad, como se expresa en la ecuación de los gases ideales.

$$\rho = \frac{P}{Rg \cdot T} \quad (2.1)$$

El otro principio necesario de conocer para entender la flotabilidad de los globos, es que la presión en el interior de un globo con elasticidad ideal es exactamente la misma que en el exterior del mismo. Esto se debe a que si la presión del globo fuese mayor que la exterior, la fuerza que ejerce sobre las paredes ($F=A \cdot P$) sería también mayor – el grosor de la membrana es despreciable, por lo que podemos afirmar que el área de contacto exterior es igual a la interior – y por tanto el globo se hincharía reduciéndose la presión que contiene el mismo. Del mismo modo, si la presión exterior fuese mayor que la interior, el globo se deshincharía, aumentando la presión del mismo (a menor volumen y misma cantidad de moles y temperatura, mayor presión). Ahora bien en la realidad los elastómeros no son ideales, y al deformarlos existe una fuerza por la que tratan de volver a su estado inicial, es por ello que la presión interior del globo siempre va a ser algo mayor

que la exterior, pero no mucho.

Podemos entonces decir que existen dos fuerzas que actúan sobre el objeto, una la fuerza de flotación producida por el desplazamiento del aire por parte del helio, y otra la suma de pesos del propio globo y de la sonda. Si la fuerza de flotación es más grande que la del peso, el globo ascenderá, y de la otra manera descenderá.

El final del recorrido del globo dependerá del tipo que se utilice, y aquí distinguiremos algunos de los tipos de globos más utilizados:

- **Globos de aire caliente:** contruidos con material no expandible, la fuerza de ascensión se basa en la reducción de la densidad del aire interior al calentarlo. El globo asciende hasta una altitud en la que se mantiene. Esto es debido a la reducción de la densidad de la atmósfera a medida que se aumenta la altura, por lo que si el volumen de aire desplazado por el globo es constante, la fuerza de flotación se reducirá, hasta llegar un punto en donde sea de igual valor que el peso de la sonda. Existen diversas maneras de calentar este aire, pero de los más conocidos son los calentados con radiación solar, en donde el globo es de un material con una gran capacidad de absorción de la radiación solar en la parte superior, y en la parte inferior de un material transparente capaces de absorber radiación infrarroja de las nubes y la tierra. Son globos de un tamaño muy grande, y tienen una menor ratio fuerza/tamaño que los globos que contienen otro tipo de gas.
- **Globos de presión cero:** fabricados con un material no elástico, al igual que los anteriores. Sin embargo, en este caso el gas utilizado para llenarlos tiene densidad menor que el aire, generalmente es helio. Inicialmente el globo no se llena por completo, al ascender, la presión de la atmósfera desciende, lo que provoca que se hinche más. Al aumentar su volumen, aumenta la cantidad de aire desplazado, y por tanto aumenta la fuerza de flotación, lo que deriva en un continuo ascenso. El globo se expandirá hasta alcanzar su volumen máximo, donde se mantendrá en altura el tiempo deseado, desplazándose únicamente de manera horizontal. El tiempo de vuelo de la sonda únicamente se ve limitada por la resistencia del globo y las fugas que tenga el mismo.
- **Globos elásticos:** son los globos más usados generalmente, y los más baratos. Su funcionamiento es similar a los globos de presión cero, con la única diferencia del material de la esfera que es de un material elástico, generalmente látex. Al ascender, se infla de forma continua hasta que llega un punto en el que explota, permitiendo el descenso del paquete, el cual es frenado normalmente por un paracaídas del que cuelga. En la práctica, se ha observado que la velocidad de ascenso es aproximadamente constante. Esto se debe a que el volumen ocupado por el globo es inversamente proporcional a la presión exterior del aire, y la velocidad es directamente proporcional al volumen ocupado y a la presión exterior (cuanto más volumen ocupado o más presión exterior, mayor fuerza de flotación). Esta proporcionalidad

deriva en que la velocidad de ascensión sea aproximadamente constante.

$$P \propto V^{-1} \Rightarrow v \propto V \cdot P \propto V \cdot V^{-1} = 1 \quad (2.2)$$

En nuestro caso, trataremos de implementar nuestro sistema a un globo elástico, dado que es el tipo más usado, más barato y del que existe más información.

En los globos meteorológicos generalmente se suelen distinguir tres partes diferentes: El globo, el paracaídas, y el paquete (también llamado payload). Ya hemos hablado de los diferentes tipos de globos usados y del cual se tomará como referencia para el sistema. El payload no es más que el paquete con los instrumentos de medida y comunicación con tierra como el GPS. El payload tiene que ser lo más ligero posible e ir correctamente sellado, usualmente se utiliza una caja de porexpán (poliestireno expandido) para aislarlo de las temperaturas, y además se suele cubrir con una manta térmica para protegerlo de la radiación y de las temperaturas otra vez.

2.1.1. Disposiciones del paracaídas

El paracaídas es el dispositivo general de frenado. Su lugar de colocación suele depender del tipo de carga usada dado que no puede situarse demasiado cerca del paquete ni del globo. La primera distancia se debe a que si el paquete se encuentra pegado al paracaídas durante la caída, corre el riesgo de enredarse con él, lo que impediría desplegarse correctamente. Si por otra parte el paracaídas se encuentra pegado al globo, corre el riesgo de verse envuelto entre los restos de goma procedentes del globo explotado. Estos fragmentos, unidos por la boquilla tras la explosión, tienen una forma de espaguetis de gran longitud (alrededor de 10m, aunque depende del tamaño inicial del globo) que en caso de enredarse en el paracaídas dificulta su despliegue. Para evitar esta serie de problemas y tratando de minimizar el uso de cuerda que sujeta al paquete con el resto de componentes de la sonda, existen diferentes disposiciones del paracaídas:

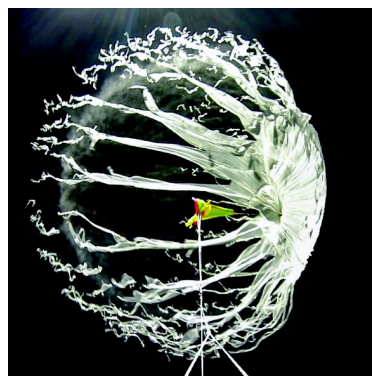


Fig. 2.1. Globo meteorológico instantes después de explotar

1. **En línea con paracaídas en el centro:** Es la forma más común, el paracaídas se agarra al paquete, y a través de un pequeño orificio la misma cuerda a la que esta

agarrada el paracaídas, lo atraviesa y llega hasta la boquilla del globo. Este método se utiliza cuando se estima que la masa del globo estallado no va a ser muy grande y los restos se van a mantener en la parte superior de la sonda durante la caída (porque el rozamiento con el aire los mantiene de arrastre) de manera que no colisionan con el paracaídas.

2. **En triángulo:** De la cuerda que une el globo con el paquete, sale un tercer extremo de la cuerda al que se ancla la tela. Esta disposición, aunque tiene una masa algo mayor que la primera, permite actuar independientemente del paracaídas, de manera que si el globo, una vez explotado, cae por su propio peso por debajo de la lona, el riesgo de que no se pueda desplegar es mucho menor. Una posible variante del mismo es incorporar un pequeño globo de helio que lo mantenga siempre por encima.
3. **En línea con paquete en el centro:** Para aquellos casos en los que los restos de la goma son mucho más pesados que incluso el payload, la sonda se puede dar completamente la vuelta de manera que dejaríamos el paracaídas mirando hacia abajo. Para evitarlo, dos cuerdas independientes salen del payload, una hacia arriba que llega hasta el globo, y otra hacia abajo para conectarlo con el paracaídas. De esta manera cuando la sonda se pone del revés, el paracaídas queda colocado de manera correcta. Aunque es uno de los sistemas menos utilizados no lo debemos descartar, ya que en nuestro proyecto contaremos con una mayor masa en el globo.

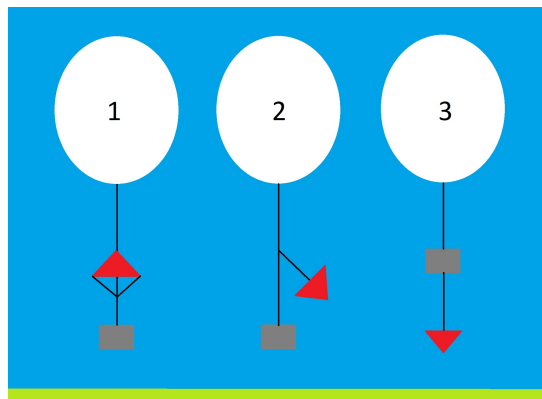


Fig. 2.2. Disposiciones del paracaídas

Si se lograsen todos los objetivos del proyecto, no sería necesario el uso de paracaídas, ya que un descenso controlado omitiría la necesidad de frenar. No obstante, el diseño del sistema de reutilización tendrá en cuenta la incorporación de uno por si surgiesen imprevistos.

2.2. Situación actual

La reutilización de un globo meteorológico no es una idea completamente nueva. Desde que se empezaron a utilizar, se ha tratado de reducir su coste lo máximo posible y

tratándose un producto de un solo uso que se utiliza con gran frecuencia, parece lógico intentar recuperar el globo para relanzarlo con un nuevo paquete. Esta recuperación se puede intentar de dos maneras distintas.

La primera consiste en atar un extremo de una cuerda de gran longitud al globo manteniendo el otro siempre en tierra. Así, lo único necesario para recuperar el globo es recoger la cuerda. El problema de este método es la masa de cuerda que arrastras, a pesar de que pueda parecer un peso bastante bajo, a medida que aumenta la altura, la masa se va acumulando y alcanza unos valores bastante altos. Como referencia una cuerda cordel ligera básica de Amazon, tiene una densidad de 0,640g/m. La densidad puede parecer baja, pero al km y medio de altitud alcanzado ya sumamos más de 1kg de masa a la carga, y hay que tener en cuenta que estas sondas alcanzan alturas superiores a los 30km. Además existe el factor de riesgo, a pesar de que, como ya hemos comentado, existen una serie de normas a cumplir. El hecho de tener un obstáculo lineal no visible, imposibilita que esta opción sea viable para globos sonda de gran altitud. Sin embargo, sí que es una opción usada para sondas de altura media o reducida, dado que la solución es muy sencilla, barata y útil.

La segunda solución, propuesta por varios proyectos realizados, es la que tomaremos como referencia. Consiste en extraer el helio contenido en el globo, de manera que la fuerza de flotación disminuya, y el globo baje. La forma más sencilla de hacerlo es con una válvula, la cual al abrirse permite la salida del helio, que es expulsado por la fuerza que ejerce el propio globo para volver a su forma inicial.

En la mayoría de los proyectos consultados no dan mayor importancia a los modelos y diseños de válvulas, así como a su fabricación, sino que se centran en los resultados obtenidos a la hora de recoger datos, o se centran en simulaciones. Sin embargo, todos coinciden en la necesidad del diseño de una válvula diferente a las encontradas en el mercado. Esto se debe a que las electroválvulas encontradas comúnmente no son capaces de soportar las condiciones del entorno, y las que lo soportan, tienen un coste fuera del presupuesto o su masa es excesiva para el proyecto.

De la misma manera, todos los sistemas de reutilización que se han encontrado o son completamente independientes del paquete general, o se comunican con este de manera inalámbrica. Esto puede deberse a que un cable de comunicación es mucha complicación o también se puede deber a un problema de masa.

2.3. Problemas del entorno

Para realizar el proyecto existen un gran número de cuestiones a resolver, siendo la superar las condiciones ambientales a las que va a estar sometido el sistema una de las mayores. En este apartado se explican los tres problemas atmosféricos más grandes a los que se expone el sistema.

Entre los diferentes problemas que superar, el mayor es la temperatura. Las temperaturas que se alcanzan en la estratosfera pueden llegar a tomar un valor de menos setenta

grados centígrados, valores no ideales para los componentes electrónicos. Este mal comportamiento a bajas temperaturas se debe al funcionamiento básico de los semiconductores.

Todo material que conduzca la electricidad se basa en la teoría de bandas, en la que se afirma que existen dos bandas, una de valencia (en la que se encuentran los electrones de la capa de valencia de los elementos) y otra de conducción (donde los electrones que se encuentran en ella pueden conducir electricidad). En los metales, estas dos capas se superponen, y por ello son conductores de electricidad. Por otra parte, las bandas de los semiconductores no se superponen, pero están muy próximas la una de la otra, y por ello, cuando se añade un poco de energía a un electrón, este es capaz de pasar a la banda conductora. Para los elementos en los que las bandas no se tocan, la energía necesaria para traspasar un electrón a la banda conductora, se llama banda prohibida. El tamaño de esta banda prohibida viene determinado por muchas características, pero el que a nosotros nos interesa es la temperatura. Al reducir la temperatura los electrones de la banda de valencia, pierden energía, y por tanto, para mandarlos a la banda conductora es necesaria mayor energía. Como se sabe, los componentes electrónicos contienen gran cantidad de semiconductores, y es por ello que a bajas temperaturas, algunos de ellos dejan de funcionar.

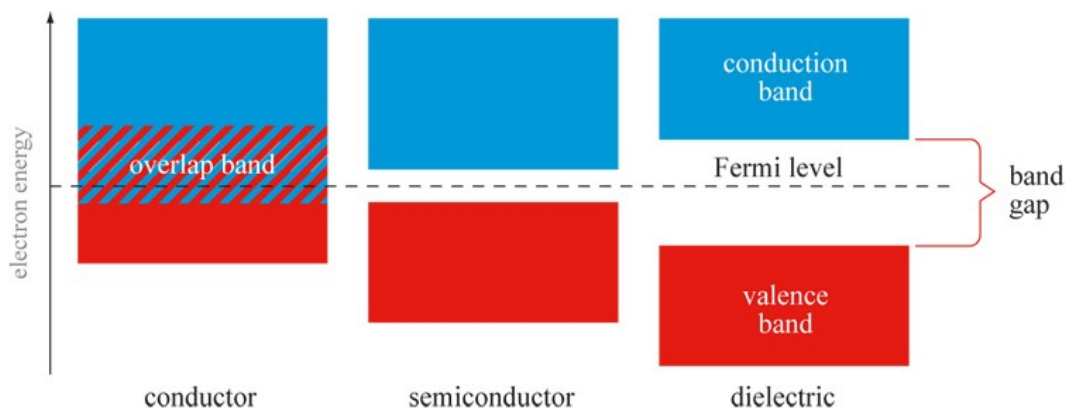


Fig. 2.3. Disposición de las bandas energéticas

Otro factor a considerar es la presión. A medida que ascendemos, la presión atmosférica desciende asintóticamente a cero, alcanzando valores de 0,1atm a 25km de altura. Algunos elementos como los condensadores electrolíticos, al someterse a presiones tan bajas, corren el riesgo de expandirse hasta agrietarse y estropearse. No obstante, esta expansión generalmente se ve limitada por la contracción a consecuencia de las bajas temperaturas, resultando en una expansión mínima de los componentes. En algunos casos como en las comunicaciones inalámbricas, una baja presión se puede considerar hasta una ventaja, ya que significa una menor atenuación de la señal.

Por último la radiación, durante gran parte del vuelo atravesamos parte de la estratosfera, principal encargada de la absorción de la radiación solar que llega a la tierra. Del mismo modo que las temperaturas bajas, afecta a nuestros componentes, pero de forma

inversa. Si la energía de la radiación es absorbida de manera involuntaria por circuitos electrónicos, estos pueden alterar el estado de carga de los nodos de los controladores. Este fallo se conoce como fallo por radiación inducida.

De esta manera, todo componente electrónico del proyecto que contenga semiconductores deberá ir correctamente aislado térmicamente y protegido correctamente de la radiación solar

3. DISEÑO DE LA VÁLVULA

En el diseño de la válvula nos encontramos con tres aspectos directamente relacionados entre sí: estructura, fabricación y disposición de la válvula.

El planteamiento del diseño contemplará en primer lugar la conexión entre el globo y el dispositivo, de manera paralela, se estudiará el material a utilizar, así como el método de fabricación para asegurar un método estanco y de fabricación económica, y finalmente plantearemos el diseño estructural que deberá satisfacer ambos requerimientos.

3.1. Disposición de la válvula

La idea inicial del dispositivo diseñado consiste en una electroválvula que, al abrirse, por la propia tensión que genera el globo tratando de volver a su deformación inicial, empuje el helio hacia el exterior, vaciando por completo su interior y anulando con ello la fuerza de flotación que mantenía al globo en el aire. De esta manera, la sonda caería en caída libre y el problema estaría resuelto. No obstante, cuando comenzamos a replantearnos el problema, descubrimos que su dificultad es mayor de la que pensábamos.

Partimos de la idea que el globo está con la boquilla apuntando hacia la Tierra, esto se debe a que el payload se agarra de este extremo (por diseño el punto de mayor resistencia del globo), y el propio peso lo mantiene en la posición hacia abajo. Al abrir la válvula, es cierto que la propia tensión del globo expulsaría una gran parte del helio contenido, pero no todo, ya que al haberse deformado el globo, este deja de estar en tensión y todavía sigue existiendo un gran volumen de helio que no se ha expulsado. Este helio no es expulsado, ya que como este gas tiende a subir hacia arriba y la boquilla está en la parte inferior del globo, no existe orificio por el que pueda escapar.

Para solucionar este problema nos planteamos diversas soluciones, entre las que destacan el de colocar una red que recogiese el globo cuando se necesitase vaciar, y la idea de dar la vuelta al globo. Ambas ideas daban grandes problemas: la red presentaba, además del problema que conlleva el peso añadido y la complejidad del sistema de recogida el riesgo de creación de alguna tensión localizada que, por pequeña que fuese, podría dañar el globo desembocando en su fractura.

Por otro lado, la opción de cambiar la orientación del globo presenta unas dificultades muy grandes, empezando en que el payload se sujeta de la misma boquilla, y terminando en que aunque se lograra dar la vuelta, el sistema se encontraría en un equilibrio inestable donde en el instante en el que el centro de masas no estuviese completamente alineado con el centro de empuje - localizado generalmente en el centro del globo -, el sistema trataría de volver a su estado de equilibrio con la masa en la parte inferior. Otra de las propuestas planteadas que se considera necesario mencionar es la modificación de la membrana del

globo mediante la apertura de un segundo orificio superior donde colocar la válvula. Esto, al igual que el sistema de recogida de red, presentaba un problema de grandes concentradores de tensiones, y para un material tan sensible como el látex estos concentradores reducen enormemente el rendimiento del material.

Replantando el problema, se puede ver que realmente no es necesaria la capacidad de vaciar por completo el globo, sino que únicamente se precisa afirmar que las tensiones de compresión sobre el gas, que genera el globo al estirarse, son suficientes como para reducir el volumen almacenado por el mismo, de manera que se reduzca la fuerza de flotación hasta conseguir que sea menor que la masa de la sonda. Para comprobar que el volumen final del globo sin la aplicación de tensiones es suficientemente pequeña, analizamos el material.

Según la ISO 17717:2017 [4], los globos meteorológicos que cumplen esa norma deben de estar fabricados únicamente con goma de látex natural, o de goma de látex natural añadido con emulsiones de goma sintética. Al ponernos en contacto con el suministrador del globo, nos informa que siguiendo la norma, está elaborado con látex natural. El látex es un polímero del grupo de los elastómeros, y se caracteriza por su gran tensión máxima, resiliencia, elongación y tiene un gran comportamiento a bajas temperaturas. Además, cuenta con propiedades viscoelásticas, las cuales significan que la deformación, al igual que la relajación, depende generalmente del tiempo, de manera que al aplicar una misma tensión durante un tiempo prolongado, la deformación aumentará con el tiempo.

El comportamiento mecánico de los elastómeros es muy difícil de predecir. A día de hoy todavía se tratan de analizar e investigar distintos modelos que puedan predecir con suficiente precisión las propiedades mecánicas de estos materiales. No obstante, para este proyecto no se necesita una gran precisión a la hora de predecir su comportamiento mecánico, ya que únicamente necesitamos poder afirmar que el globo se desinflará lo suficiente como para descender a una velocidad aceptable.

Otro objeto similar a los globos meteorológicos y que también suelen estar hechos de látex natural, son los globos de colores disponibles en cualquier tipo de tienda de cumpleaños. Aunque no presentan las mismas propiedades, el estudio de estos puede proporcionarnos una estimación del comportamiento mecánico de los globos meteorológicos, de una forma más económica.

Para analizar la relación entre la fuerza de flotación inicial y la final, seguiremos el siguiente razonamiento: El globo inicialmente se infla con helio, hasta que la fuerza de flotación es suficientemente grande. Una vez alcanza su altura máxima se ha expandido debido a la reducción de presión exterior. En este momento se abre la válvula, liberando el helio del interior, que se ve empujado por las paredes del globo tratando de recobrar su elongación inicial. Una vez se ha vaciado, comienza a bajar, aumentando nuevamente la densidad del aire. No obstante, la fuerza de flotación no aumenta, ya que el volumen del globo se ve reducido por la misma causa que provoca que se expanda al ascender.

3.1.1. Ensayo de relajación del látex

Este ensayo persigue la finalidad de poder estimar la magnitud perdida de la fuerza de flotación de un globo meteorológico después de haber estado sometido a una tensión durante un tiempo prolongado. Para ello se utilizarán globos de látex de distintos tamaños y marcas, y se calculará el ratio de volúmenes del globo antes y después de haberlo estado sometiendo a una tensión.

Para medir el volumen se ha supuesto que el globo tiene la forma aproximada de una elipsoide donde el tamaño de sus dimensiones transversales son similares. De esta forma, se ha calculado el volumen capaz de ser almacenado por el globo antes de la aplicación del estrés, e inmediatamente después de la liberación del mismo.

Las medidas se toman de forma que el globo se hincha lo justo para que almacene el máximo aire posible sin que el material esté sometido a ninguna tensión. El volumen almacenado por la muestra es de $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b^2$.

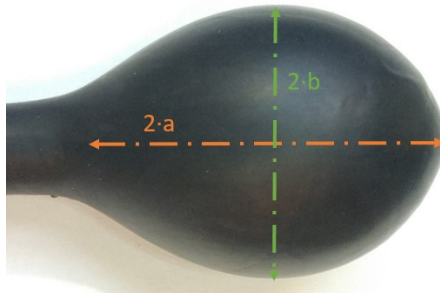


Fig. 3.1. Medidas para el ensayo de relajación del látex

Una vez medidas las dimensiones iniciales, el globo se hincha hasta que su semieje menor (el radio perpendicular a la boquilla) alcance 5 veces su valor inicial, y se deja reposar durante aproximadamente 9h. De esta forma se simularán las condiciones de tensión reales a las que el globo se enfrentará. Pasado el tiempo el globo se desinflará y se procederá a realizar las mediciones necesarias una vez más.

Para una mayor precisión a la hora de tomar medidas, supondremos que inicialmente (cuando se lanza el globo desde tierra) el volumen de helio introducido es el máximo almacenable por el globo sin que este se deforme. Esto no es cierto para nuestro caso, en donde el volumen que necesita el globo de helio para generar suficiente fuerza de ascensión, es mayor que el que puede almacenar sin que se deforme. Esto significa que si el resultado del experimento afirma que el globo se desinfla lo suficiente como para descender, la suposición nos ofrece una mayor confianza de que en la práctica habrá mayor validez.

De la fuerza de flotación, es sabido que su magnitud es igual a la masa de aire desplazado por el helio. Es por ello que además de necesitar el ratio de volúmenes inicial y final, se necesita el ratio de densidades, considerando que la diferencia entre las aceleraciones de la gravedad es nulo. Tomando los valores proporcionados por “engineering

tool box” obtenemos que la densidad del aire al nivel del mar es de 1.225 kg/m^3 , y que a una altura de 3km (altura a la que aproximadamente se abrirá el globo), tiene un valor de 0.01841 kg/m^3 .

Por tanto, el ratio de fuerzas de flotación será proporcional a:

$$\frac{F_f}{F_0} = \frac{\rho_f}{\rho_0} \cdot \frac{g_f}{g_0} \cdot \frac{V_f}{V_0} = 0,01503 \cdot \frac{V_f}{V_0} \quad (3.1)$$

Una vez realizado el ensayo obtenemos los siguientes resultados para distintos globos, caracterizados por sus masas.

Globo (g)	V_0 (cm ³)	$2 \cdot b$	b_e/b_0	$V_f(\text{cm}^3)$	V_f/V_0	F_f/F_0
2,8	63,617	24	5,33	199,005	3,13	0,047
2,2	41,888	21	5,25	89,916	2,15	0,032
2,5	50,266	21,5	5,38	214,708	4,27	0,064
2,77	74,220	25	5,56	243,735	3,28	0,049
2,65	91,630	24	4,8	181,401	1,98	0,030
24	5772,677	65	3,096	9441,533	1,64	0,025

TABLA 3.1. RESULTADOS ENSAYO DE RELAJACIÓN EN GLOBOS DE LÁTEX

En la tabla se pueden observar el volumen ocupado por la muestra anteriormente a la tensión (V_0), el tamaño del semieje menor una vez está sometido a la tensión (b_{ensayo}), el ratio entre semiejes antes y después de inflarlo (b_{ensayo}/b_0), el volumen posterior a la relajación de la muestra (V_f), y el ratio entre volúmenes (V_f/V_0) y fuerzas (F_f/F_0).

En primer lugar es necesario analizar la muestra del globo de 24g (el más grande de todos). Por distintos motivos, el máximo ratio de tamaños que llegamos a alcanzar fue el mostrado en la tabla, inferior al marcado como objetivo. Sin embargo, se ha decidido mostrar en la tabla, debido a que es el único con un tamaño considerablemente diferente al resto. Además, al considerar que el ratio de fuerzas es igualmente el menor por una gran diferencia, es un posible indicativo de que el ensayo podría proporcionar resultados similares para globos de mayor tamaño. Añadir que se realizaron experimentos produciendo una deformación similar al globo de 24g, y el valor del ratio de fuerzas fue similar al mismo, aunque la muestra de estos experimentos no la consideramos del todo representativa, al haberse realizado únicamente con cuatro muestras.

Dependiendo del globo utilizado, se obtienen diferentes valores sin parecer tener una relación directa entre el ratio de fuerzas de flotación y cualquier otro parámetro característico del globo (masa, volumen inicial, ratio de semiejes menores...). En cualquier caso, el ratio de fuerzas máximo obtenido es para el globo de 2.5g, con un valor de $F_f = 6,4 \% \cdot F_0$, lo que significaría que para que el globo se mantuviese a una altura, sería necesario que la fuerza de flotación inicial debería de ser más de 15 veces mayor que el peso de la sonda,

en cuyo caso sería muy posible que la hipótesis del volumen de helio inicial utilizada, no se cumpliera.

Asimismo, a la hora de analizar los resultados, es necesario tener en cuenta las condiciones y proceso de deformación que sigue un globo meteorológico a la hora de deformarse en la realidad y en el experimento realizado. La deformación del globo en un caso real es gradual, pero en el ensayo, la tensión es máxima todo el tiempo, de manera que bajo nuestro experimento, las condiciones soportadas por el globo son más extremas, lo que aumenta el factor de seguridad a la hora de extrapolar el resultado a la realidad. Además, recordamos la hipótesis del volumen inicial, por la que afirmábamos que el volumen de helio con el que se lanzaba la sonda era igual al máximo volumen que el globo podía ocupar sin deformarse, lo cual nos proporciona una mayor seguridad para extrapolar resultados.

Como conclusión, podemos afirmar que no es necesaria la implementación de un sistema que asegure el vaciado completo del globo, ya que la propia tensión del látex vaciará lo suficiente el globo como para que el peso de la sonda sea mayor que la fuerza de sustentación, permitiendo que el paquete caiga. De esta forma, la válvula se colocará agarrada a la boquilla del globo, con la misma apuntando hacia el suelo en disposición nominal.

3.2. Material y fabricación

Tres de los objetivos básicos que el sistema debe de cumplir, es que debe de ser un sistema de bajo coste, capaz de soportar las condiciones externas del ambiente, y de una masa lo más ligera posible. Analizando las electroválvulas disponibles en el mercado, no pudimos encontrar una que se adaptase a estos tres objetivos. La mayoría de ellas presentaban una temperatura de trabajo mínima de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, muy por encima de las esperadas de trabajo, y aquellas que eran capaces de soportar las bajas de temperaturas, eran para uso industrial, es decir caras y pesadas.

Es por ello por lo que se optó por diseñar una válvula de diseño propio con una impresora 3D. El funcionamiento de la válvula se basaría en un comportamiento mayormente mecánico, y de esta forma evitar al máximo utilizar cualquier componente con semiconductores.

La impresión 3D es una técnica en auge con gran cantidad de utilidades, y cuya mayor ventaja es el bajo coste de fabricación para lotes de piezas muy reducidos. Se ha optado concretamente por el método de FDM (fused deposition modeling), en el que un filamento se hace pasar por una boquilla a una temperatura muy elevada, de manera que el filamento se derrite y se deposita por capas. A pesar de las grandes ventajas que tiene esta técnica, también tiene un gran número de inconvenientes, como la restricción de fabricación de formas complejas o, en nuestro caso de mayor importancia, la fabricación de piezas impermeables.

Por motivos obvios la válvula que fabriquemos debe ser estanca a la salida de helio,

el gas con radio atómico más pequeño después del hidrógeno. El tamaño de su partícula hace especialmente difícil la fabricación de una pieza de estas características, ya que tiene una gran facilidad para fluir entre poros por muy pequeños que sean. Por esta razón, antes de realizar ningún modelo se diseñó un nuevo ensayo para medir la capacidad de permeabilidad de las piezas impresas.

3.2.1. Ensayo de permeabilidad

En este ensayo se persigue comparar la capacidad de impermeabilidad de piezas impresas con la impresora BCN3D Sigma, diseñadas con el programa CURA proporcionado por la misma marca. La finalidad del experimento trata de encontrar la influencia de los distintos parámetros que se pueden variar a la hora de imprimir una pieza en 3D, en la capacidad impermeable de la propia pieza.

Las piezas son de geometría similar, un cilindro hueco con únicamente uno de sus extremos tapados. Inicialmente se puede pensar que al cambiar de geometría, las propiedades de la pieza cambiarán por completo, y es posible, pero la geometría de esta pieza no se ha elegido aleatoriamente. El diseño inicial de la válvula trata de una pieza en revolución, cuyas paredes no son más que secciones circulares de mayor o menor diámetro. Esto se decidió de acuerdo a los resultados de un estudio en el que se afirmaban que las piezas cilíndricas fabricadas por esta técnica, eran las que menos fugas presentaban [5]. Es por ello que un cuenco donde las secciones de planta siguen el mismo patrón, es seguramente la geometría más simple, cuyas propiedades serán las más parecidas a las partes de nuestra pieza final.

Partiendo de la misma geometría, se han variado características del diseño de las piezas (el espesor) y sobre todo diferentes parámetros del slicer para la producción de la pieza con la impresora 3D, siguiendo recomendaciones de diversos estudios sobre esta materia. En el slicer, tras introducir el modelo de la pieza, se definen diferentes parámetros como el infill (patrón y porcentaje de relleno que tendrá la pieza), el grosor de las paredes exteriores, el patrón y grosor de las partes superior e inferior de la pieza. . . Para encontrar una pieza con unas buenas características de permeabilidad, se han ido variando estos parámetros nombrados, y analizando su influencia en el rendimiento de la pieza.

Para el ensayo, todas las piezas se han enrasado con una disolución de agua y jabón muy diluida, ya que el jabón, al ser un tensoactivo, ayuda a reducir la tensión superficial del agua, lo que resulta en una mayor fluidez del líquido. Al tener todas las piezas la misma altura, la presión a la que se ven sometidas es la misma. Finalmente, se ha cubierto la parte superior de todas las muestras para evitar la evaporación del agua, la entrada de impurezas, o la influencia de corrientes de aire que puedan estropear el experimento.

La única influyente en la presión que ejerce el agua sobre la base y las paredes del cuenco es la altura que alcanza la misma. De este modo, definiremos como porcentaje de pérdida a la relación de la altura del agua perdida, la cual se puede relacionar directamente

con las masas pesadas:

$$\%p\acute{e}rdida = \frac{h_0 - h_f}{h_o} = \frac{m_0 - m_f}{m_0 - m_{recubrimiento} - m_{pieza}} \quad (3.2)$$

Presentando un error en la medida con valor de:

$$\Delta \% = \sum \left| \frac{\partial \%}{\partial m_i} \right| \Delta m = \frac{\Delta m}{m_0 - m_{recubrimiento} - m_{pieza}} \cdot \left(3 + \frac{m_f}{m_0 m_0 - m_{recubrimiento} - m_{pieza}} \right) \quad (3.3)$$

Donde m_{pieza} es la masa de la pieza vacía, $m_{recubrimiento}$ es la masa del recubrimiento usado para tapar la pieza, m_0 es la masa inicial de la pieza llena con el recubrimiento puesto, y m_f es la misma masa tras haber transcurrido aproximadamente 48h.

Resultados

A continuación se muestran los resultados del ensayo. Si se desea ver el transcurso del experimento por completo, la información se puede encontrar en el anexo I. Asimismo, la información sobre cada una de las piezas impresas se encuentra al final del mismo anexo.

Las mismas piezas se han sometido al experimento tanto sin haberse aplicado ningún tipo de tratamiento (Liso) como habiéndose utilizado un spray rellenador de poros sobre ellas (Anti-poros). En la tabla se muestran el número de referencia de la pieza, el grosor del cilindro, el porcentaje de relleno utilizado, el espesor de la pared interior y exterior (espacio de pared solida desde el exterior hasta el infill), el patrón utilizado para cubrir los extremos superior y exterior, y los porcentajes de pérdidas para cada caso. Los mejores resultados obtenidos en el experimento son los siguientes:

#pieza	Espesor	%Infill	Pared (mm)	Patrón de z	%Liso	%Anti-poros
#3	2mm	20 %	1,6	Línea	11,81 %	1,82 %
#5.1	2,4mm	20 %	1,2	Línea	8,92 %	1,63 %
#7	3mm	20 %	1,2	Línea	4,00 %	4,37 %
#14	2,4mm	100 %	1,6	Zigzag	12,39 %	9,71 %
#15	2,4mm	35 %	1,2	Concéntrico	100,00 %	1,22 %
#19	3mm	20 %	1,2	Concéntrico	15,17 %	9,09 %
#20	3mm	30 %	1,2	Línea	26,64 %	2,23 %
#21	3mm	30 %	1,2	Línea	3,64 %	2,62 %
#23	3mm	30 %	1,2	Concéntrico	100,00 %	3,22 %
#25	3mm	20 %	1,2	VASE	10,10 %	4,30 %
#32	4,4mm	30 %	2 (Difuso)	Concéntrico	100,00 %	1.46 %

TABLA 3.2. RESULTADOS PRUEBA DE PERMEABILIDAD

A pesar de que no todas utilizan el mismo material, no parece que este influya mucho en el resultado de la misma, y por eso no se muestra en la tabla. De la misma manera,

todas las piezas utilizan patrón de infill concéntrico y su flujo del filamento es del 100 % (el establecido por defecto), dado que aquellas piezas en las que este parámetro se ha modificado, han resultado en peores resultados para nuestra finalidad.

Aunque la mayoría de piezas tienen una altura de capa de 0.15, no se considera que sea un parámetro relevante, ya que es la altura más usada en las pruebas, y al analizar con una tabla dinámica los resultados, observamos que los resultados no parecen seguir ningún patrón con respecto al perfil utilizado.

Un resultado no esperado, y que se considera de importancia, es el observar como para piezas que presentan un rendimiento muy bajo sin haberlas realizado ningún tratamiento, una vez se le aplica el spray rellenador de poros, su rendimiento aumenta muy por encima de la media de incluso las piezas que inicialmente daban un buen resultado. El motivo que podemos dar a esta consecuencia es que el tratamiento se aplica mejor en piezas de una rugosidad alta, de manera que al crear poros más gruesos intencionadamente, se crean menos de tamaño reducido. Y con el tratamiento que se aplica, estos poros de mayor tamaño son más fácilmente sellados. Esta hipótesis se puede corroborar con el rendimiento de la pieza 32, que se imprimió con el “modo difuso” de CURA, técnica por la que las paredes exteriores del material tienen una gran rugosidad. No obstante este método, aunque destacable, no se puede tener en cuenta a la hora de diseñar nuestra válvula, ya que cuenta con diversas piezas, cuya unión se vería dificultada en caso de existir dicha rugosidad.

Finalmente, destacar el resultado más importante para nuestro estudio: En ningún caso se ha logrado conseguir la impermeabilidad total de la pieza. Aunque se haya logrado reducir la pérdida a un 1,22 %, los resultados parecen tener mucha dispersión entre sí. De esta forma concluimos en la necesidad imperativa del uso de un tratamiento para las piezas distinto, que asegure su estanqueidad.

3.2.2. Postratamientos para la estanqueidad

Dado que se ha demostrado la gran dificultad de hacer que una pieza fabricada por FDM cumpla con el requisito de que sea impermeable al helio, se decide aplicar un tratamiento para asegurar la ausencia de fugas en la pieza.

Inicialmente se trata de aplicar un barniz mate en espray. Estos barnices se aplican comúnmente para piscinas para impermeabilizarlas. Si bien aunque los barnices no suelen ser en spray, decidimos probar con esta opción ya que era más económica, y no se veía necesaria la aplicación de un barniz industrial.

Para el ensayo se procedió de manera similar al anteriormente reseñado, aunque únicamente con las piezas que consiguieron un mejor resultado en la prueba anterior y aplicando los distintos tratamientos superficiales. Para la aplicación del barniz se lijaron previamente las piezas, para un mejor agarre sobre las mismas. Una vez realizado el ensayo, los resultados obtenidos fueron inesperados: para la gran mayoría de las piezas la pérdida

de fluido había aumentado. Un resultado bastante desconcertante, debido a que las piezas que se sometieron al tratamiento eran las mismas que las del anterior ensayo, que se les había aplicado el barniz. Esto significa que el resultado como poco, debería de tener los mismos valores que la columna %Anti-poros de la de resultados del apartado anterior. Realizado otra vez el experimento, y comprobando que los resultados eran válidos con un error admisible, se propuso la idea de que el mal rendimiento de las piezas se podía deber al haber lijado las piezas, que habría abierto nuevos poros en la pieza que no se cubrieron con el barniz aplicado posteriormente. De esta forma decidimos que las piezas no se lijarían al aplicarse el tratamiento. Por lo que los tratamientos que se apliquen deberán tener una buena adherencia a la superficie de los plásticos (si no fuese así, se podría aplicar una imprimación previa).

También se han probado otros tratamientos, sobre una misma pieza, como pintura plástica para exteriores con y sin imprimación previa, sin obtener resultados satisfactorios. Del mismo modo, se han aplicado dos tipos de tratamientos térmicos, en los que ha destacado el uso de un decapador para recalentar la pieza una vez impresa, y tratando de rellenar los poros por medio de difusión del material de zonas convexas a las cóncavas.

No obstante el tratamiento que mejor ha funcionado ha sido un esmalte sintético en pincel. El cual ha reducido las pérdidas hasta un porcentaje prácticamente nulo. El porcentaje de pérdida residual restante, se estima que se debe a pérdidas por evaporación del agua, debidas principalmente a que la tapa utilizada no sella completamente la pieza.

Además se han realizado diferentes pruebas con este mismo tratamiento, para confirmar que no había sido casualidad, y todas ellas han sido satisfactorias.

3.2.3. Material y fabricación escogidos

Finalmente se ha decidido optar por la fabricación de las piezas por la técnica de impresión 3D de FDM, el material del filamento realmente es indiferente, aunque las piezas que se fabriquen deberán haberse diseñado con un espesor de no menos de 3mm. Para la creación del código a la hora de imprimir, se utilizará un patrón concéntrico y una pared interior y exterior de 1,2mm, de acuerdo a como se ha demostrado que son las características con mejores resultados a la hora de comprobar su impermeabilidad.

Las piezas una vez impresas deberán someterse a un posprocesado en el que se les aplicarán dos capas de esmalte sintético, presentando especial cuidado en las esquinas de la pieza (donde se ha visto que se presentan las mayores fugas y porosidades).

3.3. Arquitectura del sistema

Una vez conocemos el material y la técnica de fabricación que se utilizará para fabricar la válvula, podemos proceder a realizar el diseño de la misma, teniendo en cuenta las ventajas y limitaciones que presenta cada una. Como ya se ha mencionado con ante-

rioridad, la técnica de impresión por FDM, presenta una cantidad de ventajas a la hora de diseñar piezas, pero también presenta algunas restricciones a las que será necesario adaptarse. Para el diseño de la válvula se partió de la idea del funcionamiento de una válvula antirretorno, cuyo funcionamiento explicado de forma visual en la figura 3.2 en una válvula que deja fluir el aire en una dirección pero no en la contraria (similar a un diodo en un circuito electrónico).

Esto se consigue con un diseño en donde el propio fluido, al moverse en la dirección no deseada, presiona una membrana sobre la sección de la tubería, impidiendo su paso. En el otro caso, el flujo del fluido desplaza la membrana habilitando el flujo continuo.

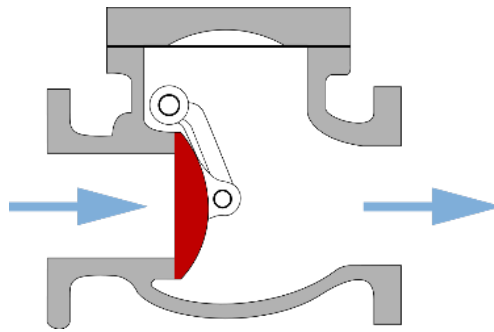


Fig. 3.2. Esquema de una válvula antirretorno

El diseño inicial, parte de la idea en la que el flujo de salida del aire del interior del globo, se ve obstruido por la membrana, y en el momento en que se desee vaciar el globo la membrana se levantaría con un mecanismo, habilitando el desinflado del globo. Para facilitar el acceso a la membrana, se sustituyó por un pistón, cuyo extremo daba al exterior. Así, elevar el pistón se podría hacer de diferentes maneras.

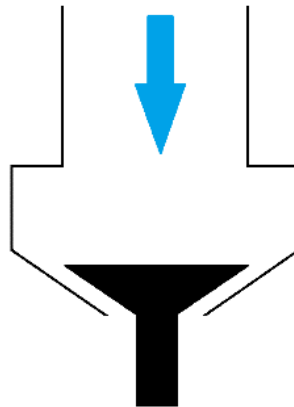


Fig. 3.3. Esquema del diseño a utilizar

A la hora de imprimir la válvula, se decidió dividir la misma en tres diferentes piezas: pistón, carcasa y cuello. El pistón, es la parte móvil de la válvula, la necesaria de accionar para desinflar el globo. El cuello de la válvula, es la sección a la que la boquilla del globo está conectada a la válvula. Por último la carcasa es la pieza intermedia, en donde el aire fluye por las paredes cuando el pistón está elevado. La carcasa y el cuello de la válvula, a

pesar de ir unidos, se imprimen como piezas individuales por diversos motivos. Si fuese una única pieza, la colocación del pistón en el interior sería más complicada, además a la hora de imprimirlo, sería necesario generar soporte, lo que daría no solo un peor acabado, sino también generaría la necesidad de limpiar la superficie pistón/carcasa para asegurar una correcta estanqueidad.

3.3.1. Métodos para mantener cerrada la válvula

La mayor problemática que podía presentar la válvula, suponiendo que el material no diese fallos de porosidad, era la presencia de una fuga en las superficies de conexión entre partes de la válvula. Para la unión entre el cuello y la carcasa de la válvula el problema no se suponía muy grande, ya que el mismo recubrimiento que se le aplicase a la pieza, se le aplicaría a la superficie de la unión ya hecha. Por otra parte, a la superficie de contacto entre el pistón y la carcasa, es inútil aplicarle un tratamiento para evitar la porosidad, ya que el problema reside en que las piezas son móviles. De esta manera, se optó por introducir una pequeña junta de plástico como interfaz entre las piezas cuando la válvula estuviese cerrada. Sin embargo, todavía se presenta el problema de cómo mantener el pistón pegado a la carcasa de forma que cuando se desee, el pistón se pueda elevar. Para ello se plantearon diferentes métodos, entre los que destacan tres:

- **Cierre por muelles:** El primer diseño se trata de una serie de muelles que presionan desde el cuello al pistón. De esta forma, la válvula se encuentra en todo momento cerrada, y el mecanismo será el encargado de abrirla. Esta solución es muy común de usar en las válvulas antirretorno, y en nuestro caso tiene la principal ventaja que es muy segura. En caso de que el sistema electrónico o de acción falle, la válvula continuará cerrada, e impedirá la salida del aire del globo, el mismo resultado que si el vuelo se hiciese sin válvula. Esto aseguraría la llegada del payload a la altura esperada, aunque finalmente el globo estallase y no se pudiese reutilizar. Como punto negativo, la fuerza necesaria para abrir la válvula tendrá que ser mayor que la presión del globo, añadiéndose la presión que ejercen los muelles (la cual será establecida a necesidad). Un diseño preliminar se puede observar en la figura 3.4, mostrada a continuación:
- **Mecanismo Biela Manivela:** Se trata del mecanismo similar al pistón de un motor, pero a la inversa. Un motor conectado a un engranaje que actúa de manivela, rota conectada a una barra que está unida al pistón de la válvula, que actúa como una biela. Las conexiones no limitan la rotación de la pieza, de manera al rotar el motor, el pistón se mueve longitudinalmente, permitiendo la apertura y cierre de la válvula. El problema principal que tiene este sistema es que el cierre se ve limitado por la fuerza del motor en reposo (cuando la válvula está cerrada). Un motor paso a paso (stepper), podría ser una de los posibles motores a elegir, tienen un gran par, y permiten el bloqueo del rotor cuando el motor está apagado. No obstante, si la

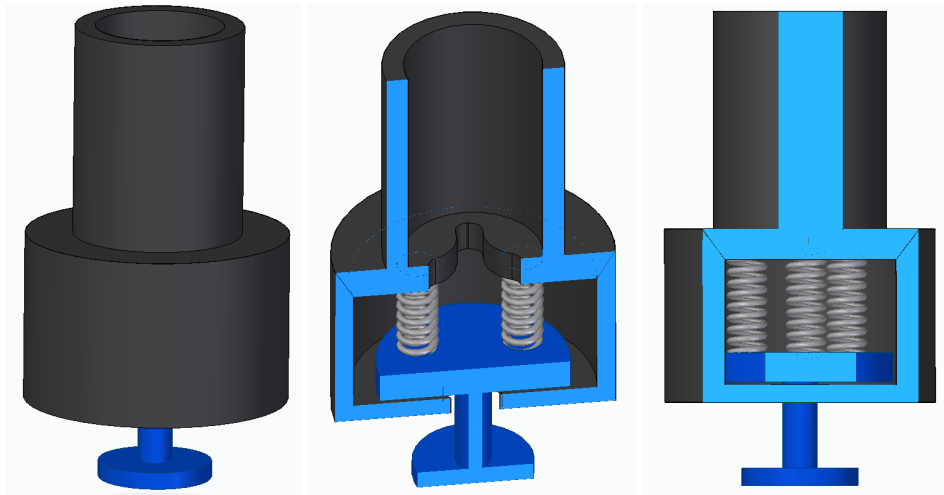


Fig. 3.4. Perfiles de la válvula con cierre por muelles

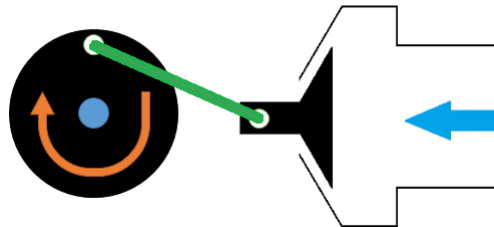


Fig. 3.5. Esquema del válvula con mecanismo biela-manivela

elección del motor fuese un problema, se podría incorporar una pequeña pieza que mantuviese el giro bloqueado, de manera que cuando se necesitase abrir la válvula, se retirase y el motor finalizase el movimiento de apertura.

- **Husillo:** Para este último método, se plantea la idea de utilizar un husillo para la elevación del pistón. Un husillo es un tornillo roscado sin fin, el cual rota ayudado de un motor al que está conectado. El tornillo, fijo en un punto, al rotar provoca que cualquier objeto roscado a él, ascienda o descienda. De esta forma, con una tuerca en el interior del pistón, y manteniendo el accionador fijo con respecto a la carcasa de la válvula, se puede provocar el desplazamiento vertical de la pieza. La principal ventaja que este método conlleva, es que la fuerza que debe soportar el motor es menor que para el resto de casos. Una vez la válvula esté cerrada, la propia tensión a la que está sometida el tornillo evitará que se desenrosque.

Comparativa de diseños

Para hacer una comparativa de los diferentes diseños presentados, se ha procedido a evaluar individualmente su funcionalidad en las diversas características con las que debe cumplir. Posteriormente se ha procedido a rellenar una tabla en donde se evalúan de 1 a 3 el rendimiento de estas características según el diseño de válvula (siendo 3 el mejor funcionamiento). De esta manera, el diseño que obtiene una puntuación más alta, será la

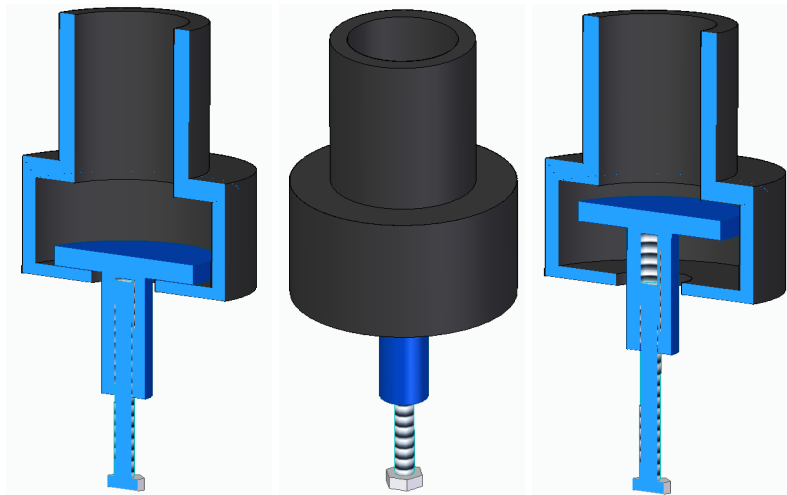


Fig. 3.6. Perfiles de la válvula con cierre por husillo

considerada con mejores características.

Válvula de cierre por muelles

1. **Masa:** añadiéndose a la estructura básica de la válvula, en el diseño de cierre por la fuerza de unos muelles, se cuenta con la masa de los propios muelles que se usen (contamos tres, para evitar la flexión de ellos en caso de estar descentrados), y el sistema de apertura, que podría ser una pequeña palanca.
2. **Posibilidad de fallo al cierre:** El cierre viene producido por la fuerza de los muelles, por lo que ante una buena elección de los mismos la única posibilidad de fallo reside en el material de la carcasa que los sujete (muy baja).
3. **Posibilidad de fallo al abrir:** Los muelles ejercerán una gran presión sobre el pistón, de manera que la fuerza requerida para abrirlo será de una gran magnitud, y será necesario mantener esa fuerza hasta que el globo se haya vaciado por completo.
4. **Dificultad de fabricación:** Es necesaria la importación de los muelles, y a la hora de montar el conjunto es necesaria la alineación correcta de los muelles para evitar su flexión. Además la unión entre la carcasa y el cuello de la válvula deberá de hacerse mientras los muelles están en tensión. Por estos motivos, consideramos la dificultad de fabricación media.

Válvula de mecanismo biela-manivela

1. **Masa:** A añadir a los componentes comunes de la válvula, el mecanismo necesitará la implementación de una rueda/barra que actúe a modo de biela, y otra barra de forma de manivela. Deberá existir un carril que da al exterior de la válvula para asegurar el movimiento lineal del pistón, sin que obstruya la salida del helio.
2. **Posibilidad de fallo al abrir:** El sistema tiene la ventaja de que para abrir la válvula únicamente es necesario oponerse a la fuerza de la presión a la que el gas se

encuentra, mucho menor que la fuerza que se espera necesitar para cerrar la válvula, por lo que esto no debe suponer ningún problema.

3. **Dificultad de fabricación:** Un gran punto positivo con el que cuenta la fabricación de la válvula, es que todas las piezas se pueden fabricar con la impresora 3D que se utiliza para la fabricación de la válvula. Sin embargo, el ensamblaje de la estructura final es más complicado, es necesario una pieza que mantenga el centro de la biela y la estructura de la válvula a una distancia constante, siendo estable ante las fuerzas que soportará.

Válvula con husillo

1. **Masa:** A la masa de los tres componentes fundamentales de la válvula, se le tiene que añadir el peso de un único tornillo que irá roscado al pistón. Para finalizar, será necesaria una pieza que mantenga el tornillo a distancia constante de la carcasa de la válvula, de manera que el desplazamiento al girar el tornillo lo realice el pistón, no el tornillo.
2. **Posibilidad de fallo al cierre:** El cierre se mantendrá por la tensión a la que se encuentra el tornillo agarrado al pistón. De manera que no se requiere de ningún sistema que mantenga cerrada la válvula, y el único fallo previsto de fallo es el de fallo mecánico, que vendrá definido por las propiedades de los materiales.
3. **Posibilidad de fallo al abrir:** La forma de abrir la válvula es similar a la de cerrarla, pero en este caso el fallo por fractura del material no es un riesgo que sea de gran importancia. A diferencia, el fallo viene provocado por la potencia del motor. Aunque poco probable, existe la posibilidad de que el tornillo este demasiado prieto cuando la válvula se encuentre cerrada, de manera que la misma tensión longitudinal que impide la salida del helio, ofrezca una resistencia a torsión la cual no pueda superar el par del motor seleccionado. Si bien, como ya hemos comentado, este escenario se considera poco probable.
4. **Dificultad de fabricación:** Todas las piezas son de simple fabricación con la técnica elegida. El único problema que se puede encontrar es el roscado que debe presentar el pistón, ya que debe de ser lo suficientemente resistente como para soportar toda la fuerza longitudinal, ocupando el menor tamaño posible para que de esta manera, la masa se minimice.

Selección del diseño

Analizando las características recién redactadas y realizando una comparativa entre ellas, se ha rellenado la siguiente tabla multicriterio, ordenando la eficacia a la hora de desempeñar cada función, evaluándose de 1 a 3 de peor a mejor, cada diseño. Cada apartado tiene un peso diferente en relación a su importancia considerada en el proyecto.

Finalmente el diseño que obtenga mayor puntuación será el considerado como modelo inicial.

	Peso	Muelles	Biela-Manivela	Husillo
Masa	30 %	2	1	3
Posibilidad de fallo al cerrar	35 %	3	1	2
Posibilidad de fallo al abrir	25 %	1	3	2
Dificultad de fabricación	10 %	1	3	2
Total	100 %	2	1,7	2,3

TABLA 3.3. TABLA MULTICRITERIO DE DISEÑOS

En la última fila se muestra la suma de los resultados en las secciones, de esta manera, siguiendo el peso de cada función establecido, obtenemos que la válvula con sistema de cierre por un husillo, es el diseño que se tendrá en cuenta para la fabricación de la válvula.

La seguridad de cierre y masa mínima, son las que consideramos facultades clave para el desempeño de la función requerida, y estas características las cumple. Además una baja dificultad entre el cierre y la abertura de la válvula, facilita el logro de la función secundaria de realizar un descenso controlado con el globo.

4. DISEÑO DE LA ELECTRÓNICA

El diseño de la electrónica, consiste mayormente en la selección de los componentes electrónicos que accionan la válvula seleccionada en el capítulo anterior. Como se comentó anteriormente, el principal problema al que nos enfrentamos es el de la temperatura, debido a que los semiconductores que se presentan en la mayoría de los componentes electrónicos corren el riesgo de fallar.

Como punto a favor, las bajas presiones a las que acompañan dichas temperaturas, hacen que la pérdida de calor de los componentes, se realice con un flujo muy reducido. Esto permite que el fallo de aquellos objetos que estén cubiertos por un aislante, sea menos probable mientras el vuelo del globo sea lo suficientemente corto. No obstante tener en cuenta que si se desea realizar un lanzamiento de gran duración, estos problemas comenzarán a suponer un riesgo.

A la hora de diseñar la electrónica del sistema tenemos en cuenta la necesidad de que el sistema sea capaz tanto de abrir como de cerrar la válvula, para poder expulsar helio a deseo. Para ello, se analizan de forma paralela, las distintas posibilidades para utilizar: el motor para accionar la válvula, la comunicación del mismo con el payload, y el circuito necesario para habilitar el cerrado de la válvula.

De esta manera, las distintas alternativas se resumen en tres grupos dependiendo del motor que accione la válvula: servo motor, motor DC o motor paso a paso (stepper):

4.1. Servo motor

Un servo es un tipo de motor de gran precisión y par a la hora de controlar la posición de giro. No obstante, una vez analizada la opción con mayor detenimiento, se descartó rápidamente su utilización, en base a dos problemas que se planteaban a la hora de utilizarlo:

- El primero su mínima capacidad de giro (únicamente tiene una libertad de 180 grados), la cual es un inconveniente considerable al necesitar girar varias revoluciones la rosca del husillo. Para solucionar este problema, se podría haber optado por una caja de cambios por la que se aumentase las revoluciones mediante un sistema de engranajes (lo opuesto a una reductora). Si bien, esta opción aumentaba considerablemente la masa de la válvula, a la vez que perdía par de torsión de forma proporcional.
- El segundo problema que presentaba el motor es la presencia de semiconductores, los cuales estamos tratando de evitar al máximo. El problema se podría haber enfrentado con la aplicación de un aislante térmico, no obstante, volveríamos al

problema del aumento de masa.

Por estos motivos, se descarta la opción de utilizar este tipo de motores, reduciéndose la elección a los dos grupos restantes.

4.2. Motor DC

Esta opción consiste en un pequeño motor de corriente continua, compuesto únicamente por una pequeña bobina y un imán, de manera que al pasar una corriente continua, se genera un campo magnético que gira el rotor del motor. Estos motores se caracterizan por su gran simplicidad y el pequeño tamaño que pueden llegar a alcanzar.

Sin embargo, el par que presentan suele ser bastante limitado, además de que no cuentan con ningún encoder, ni ningún tipo de dispositivo que permita controlar de forma precisa la posición/velocidad angular del motor.

Debido al primer inconveniente nombrado, y a que la velocidad de giro de estos motores no suele suponer ningún problema, existen a la venta motores con cajas reductoras incorporadas de tamaño muy reducido. En especial se han tenido en cuenta algunos motores, ofertados a través del proveedor on-line RS. Estos motores presentan, a diferencia del resto, un par de giro relativamente elevado en relación con su masa. Además, permiten una alimentación de 6V, a diferencia de los 12V mínimos requeridos para la gran mayoría de motores que cumplían con las características buscadas.

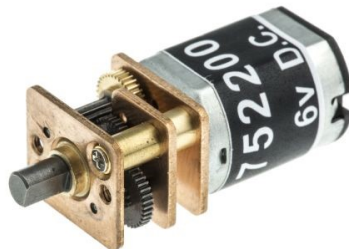


Fig. 4.1. Motor DC con reductora

De esta manera se ha optado por el motor mostrado en la imagen 4.1 de RS (ref: 752-2002), con par de 700 gcm cuando se le alimenta con 6V. Este par es orientativo, al igual que las 145 rpm, ya que como se ha indicado antes, estas características no suelen tener gran precisión.

4.2.1. Comunicaciones

Para las comunicaciones, consideramos dos posibilidades, la comunicación alámbrica convencional, y la comunicación inalámbrica, por medio de un módulo bluetooth receptor. Ambos métodos, tienen sus ventajas e inconvenientes, y se explicarán a continuación.

La comunicación alámbrica es más fiable, pudiéndose despreocupar de las posibles interferencias o salida de rango del motor. No obstante, recordamos como en el apartado del marco regulador, se decidió diseñar el módulo para que fuese compatible con el desenganche de seguridad (por el que, en caso de emergencia, el payload se pudiese soltar del globo). Este procedimiento generalmente se realiza quemando la cuerda que mantienen unidos al globo y el paquete, con una pequeña carga térmica.

Si se utilizase una comunicación inalámbrica, no existiría problema alguno, ya que una vez la unión desapareciese, la válvula continuaría conectada al globo. En cuanto al marco legal, el problema desaparecería en cualquier caso, ya que el globo pasaría a localizarse en la categoría de globos ligeros (con unas normas de vuelo mucho menos estrictas que los pesados).

El problema que presenta el uso de un cable, es la inviabilidad de fundirlo de manera similar a la cuerda, por lo que debe de existir un método de desconexión del cable. Después de analizar diversas opciones, entre las que se encontraban una soldadura débil o una pletina de superficie controlada que se rompiese con el impacto, se concluyó que optar por una conexión como la mostrada en la imagen 4.2 (similar a la de unos auriculares) sería la solución más eficaz y ligera, si se optaba por esta opción de comunicación. La desunión consistiría en que una vez se quemase la cuerda, la caída del paquete produzca un tirón en el cable (el cual antes, teniendo un tamaño algo mayor que la cuerda, se encontraba sin carga).



Fig. 4.2. Conector hembra y macho de tipo RCA

A la hora de realizar la comparativa, nos figamos principalmente en el peso que añade al paquete cada uno de los sistemas de comunicación.

Modulo inalámbrico:

Empezando por el módulo inalámbrico, los componentes que forman el módulo serían:

- Arduino micro: Uno de los microcontroladores más pequeños del mercado (mostrado en la imagen de la izquierda de la figura 4.3). Se usaría para marcar la conexión entre la tarjeta de comunicaciones y el motor.
- Tarjeta de comunicación bluetooth Hc-06 (x2): Una para enviar la señal desde el payload, y otro para recibirla. Dependiendo del alcance que se quisiera tener, se

podría añadir una antena al módulo (lo cual no sumaría un peso significativo).

- Batería externa: Para alimentar toda la electrónica. Dependiendo de la duración del vuelo se necesitaría de mayor o menor voltaje y capacidad. Estimando una duración de vuelo 6h y con un factor de seguridad del 35 %, se calcula que ante el consumo del módulo, sería necesaria una batería externa de 7V con una capacidad de 2200 mAh.
- Caja aislante: De poliestireno expandido, para aislar los componentes electrónicos como el arduino y la tarjeta de comunicaciones.

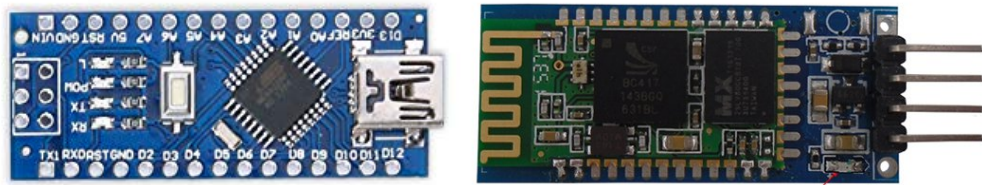


Fig. 4.3. Arduino micro y módulo bluetooth HC-06

La disposición de las masas de cada componente sería la siguiente:

Componente	Cantidad	Masa/unidad
Módulo HC-06	2	13,6g
Arduino Micro	1	30g
Batería externa 2200 mAh	1	180g
Caja	1	10g
Motor	1	10g
	TOTAL	257,2g

TABLA 4.1. MASAS DE COMPONENTES DEL MOTOR DC CON MÓDULO INALÁMBRICO

Conexión alámbrica

A la hora de realizar la conexión alámbrica, únicamente es necesario tener en cuenta el cableado utilizado, y añadirle 3g del conector que se usaría para el desenganche de la válvula.

Para la conexión se opta por realizarla con un cable de tamaño AWG26, con recubrimiento de silicona. El recubrimiento del cable se utiliza de silicona dado que la goma de los convencionales se puede agrietar a temperaturas tan bajas, existiendo el riesgo de contacto entre los cables de señal, produciéndose un cortocircuito.

La densidad de este tipo de cables es de 3,5g/m, y la resistencia que presenta es despreciable ($14\Omega/km$). Realizando un simple cálculo con esta densidad, podemos obtener

que la longitud crítica del cable, a partir de la cual la masa de la conexión alámbrica es mayor que la del cable es de 70m de los cuales la distancia de la válvula será la mitad, debido a que son necesarios dos cables de conexión (uno positivo y otro negativo). De esta forma obtenemos que la distancia crítica de la válvula es de 35m, y mientras la distancia real sea menor que esta longitud – caso que se dará para la mayoría de las situaciones – la opción de conexión alámbrica será más ligera.

4.3. Motor paso a paso

El motor paso a paso, es la última opción que hemos considerado. Su versatilidad a la hora de realizar todo tipo de tareas, lo hacen el motor por excelencia en la ingeniería. Para este caso nos hemos fijado en el modelo 28BYJ-48, el cual es el stepper más común para uso con microcontroladores.

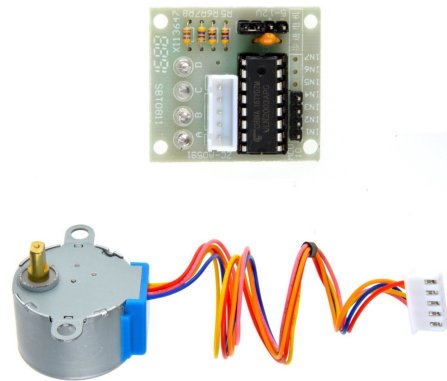


Fig. 4.4. Driver controlador y motor paso a paso

El funcionamiento de este tipo de actuadores se basa en la orientación de cada uno de los polos del motor (pasos), de manera que para rotar es necesario cambiar continuamente la orientación de estos, realizándose el giro paso a paso.

Este funcionamiento le hace tener unas propiedades muy características y útiles a la hora de utilizarlo. Entre estas características se puede observar que: posee una fuerza a torsión de gran magnitud, el motor tiene la capacidad de anclarse en el momento que no se alimenta o que el giro se realiza de manera controlada, lo que le permite realizar movimientos muy precisos. No obstante, la característica que más nos importa es que está formado únicamente por conductores e imanes.

A pesar de todas las ventajas que tiene esta opción, existen inconvenientes, que son necesarias tener en cuenta. El control del stepper es muy complejo para realizarlo de forma directa con un microcontrolador como un arduino o una raspberry pi, de esta manera para controlarlo es necesario el uso de un driver que actúe como traductor entre el motor y la placa. Además generalmente los motores paso a paso suelen ser mucho más pesados que los servos y los motores DC, dato necesario a tener en cuenta para este proyecto. Adicionalmente, aunque no supone un mayor problema, el voltaje de alimentación del

motor paso a paso suele ser más elevado que otros motores ($\sim 12V$), de manera que cuando se conecte deberá de ser directamente a la fuente de alimentación, en lugar de a la alimentación del controlador (que suele ser de 5V).

El modelo que tenemos en cuenta (28BYJ-48), es de los motores paso a paso más sencillos y ligeros en el mercado. Sus características técnicas no destacan en ningún aspecto, pero se consideran suficientes para el uso que se le dará, y como ya se ha comentado tiene un buen tamaño.

4.3.1. Comunicaciones

En esta alternativa del motor, las opciones de comunicación con el módulo principal son similares, existiendo pequeñas diferencias debido al cambio de motor

Módulo inalámbrico

Los componentes necesarios para la conexión del motor por medio de un módulo bluetooth, son similares a los usados en el apartado del motor DC, cambiando únicamente la masa del motor, y la capacidad de la batería, la cual requiere un aumento de la capacidad necesaria a 2700 mAh para un factor de seguridad del 30 %.

El cambio se debe básicamente a un aumento del número de pines utilizados por el motor. Para alimentar un motor DC, ya hemos dicho que se necesitan 2 pines, pero para controlar un motor paso a paso son necesarios 4 pines. De esta manera la tabla de masas nos queda con las siguientes cantidades:

Componente	Cantidad	Masa/unidad
Módulo HC-06	2	13,6g
Arduino Micro	1	30g
Batería externa 2700 mAh	1	200g
Caja	1	10g
Motor + Driver	1	40,8g
	TOTAL	308g

TABLA 4.2. MASAS DE COMPONENTES DE STEPPER CON
MÓDULO INALÁMBRICO

Conexión alámbrica

En este caso, para calcular la distancia crítica entre la válvula y el globo, en lugar de dividir entre dos la longitud del cable, se debería dividir entre 5. Nótese que en la conexión mediante el módulo bluetooth son 4 cables los que conectan el driver con el controlador, sin embargo son 5 los que conectan el driver con el motor, como se puede comprobar en

la imagen 4.4. En el caso de la conexión inalámbrica es necesario tener en cuenta los 5 cables, ya que el driver al controlar el motor por medio de componentes electrónicos, no puede permanecer a la intemperie.

Siguiendo la misma lógica que la utilizada en el apartado de conexión por cable del motor DC, y manteniendo la densidad del cable en 3,5g/m, podemos calcular que la longitud crítica del cable del motor paso a paso es de 77m de cable.

Finalmente obtenemos que a partir de una distancia de 15,3m entre el globo y la válvula, el sistema de comunicación recomendable debido al exceso de masa será el módulo bluetooth. En este caso la distancia a la que se suele encontrar el globo del paquete suele ser de ese orden de magnitud, por lo que el método a elegir se debería analizar dependiendo del lanzamiento concreto del globo y de la seguridad que se necesite.

En nuestro caso, hemos considerado que la conexión por cable sería más segura a la hora de realizar las primeras pruebas. No obstante una vez se demostrase la fiabilidad del sistema, un módulo bluetooth simplificaría el montaje de la válvula.

4.4. Circuito y componentes

Analizando las dos opciones de motor disponibles, podemos concluir en que el motor DC, con una conexión por cable, se espera que sea la opción más ligera entre las propuestas. Por lo que se usará el motor DC de 6V con par de 700 gcm (ref. 752-2002), con una conexión de un cable de grosor AWG26, y recubrimiento de silicona. Además, como método de desconexión de emergencia con el paquete, se añadirá a mitad del cable un conector de tipo RCA entre los dos cables, el cual se desconectará al sufrir el impacto de la caída del paquete, generado por la rotura de la (se han realizado pruebas de carga, resultando en una carga máxima sin desconexión de 750g).

Es necesario comprobar que el motor tenga el par suficiente como para abrir y cerrar la válvula, de no ser así, se podría cambiar al motor a un motor de características similares pero con mayor par (ref. 834-7647). Si este par siguiese siendo insuficiente, bien se podría utilizar un motor con una caja reductora de mayor potencia aunque pesase más, u optar por la opción del motor paso a paso.

La alimentación y control del motor se realizará con un arduino, que podrá ser el mismo que se use para el circuito principal – el utilizado para controlar el resto de instrumentos del paquete: termómetro, acelerómetro, gps... - por lo que este peso no se tiene en cuenta a la hora de calcular la masa total.

Dado que se ha decidido utilizar un motor de corriente continua, para lograr la capacidad de abrir y cerrar la válvula, es necesario ser capaces de invertir la polaridad del motor. Esto es, cambiar la dirección de la corriente para que la rotación del motor cambie de dirección de giro. Con un motor paso a paso, este problema no surgiría, ya que tiene la capacidad de girar en ambas direcciones. El cambio consiste en hacer que el motor se

someta a un voltaje de 5V, 0V y -5V, para abrir, mantener posición y cerrar la válvula. La dificultad de este problema, es que únicamente contamos con una fuente de 5V del arduino. Este cambio de dirección se puede hacer con un conocido chip como “puente h”, por el cual a partir de 4 transistores se puede cambiar la polaridad del circuito. Los transistores, no presentarán problemas a las condiciones de temperatura del exterior mientras se encuentren en el interior del payload. No obstante, estos transistores cuando se encuen-

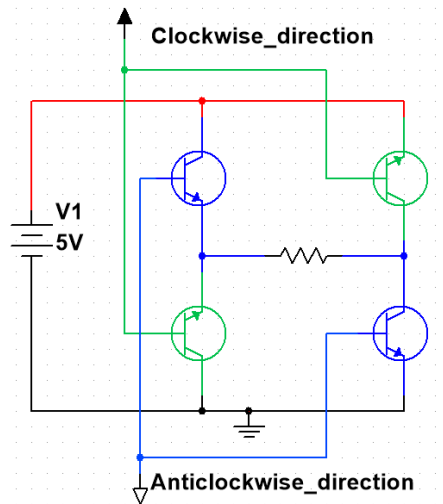


Fig. 4.5. Esquema electrónico de un puente h

tran en funcionamiento consumen parte del voltaje que alimenta al motor, lo que significa una pequeña pérdida del par ofrecido. Para evitar esta pérdida, se decide utilizar relés, que al actuar como interruptores, no consumen el voltaje que va directo al motor.

Con un montaje sencillo de 2 relés, similar al mostrado en el esquema de la imagen 4.6, se puede conseguir el mismo funcionamiento que el puente h, controlando la dirección del motor:

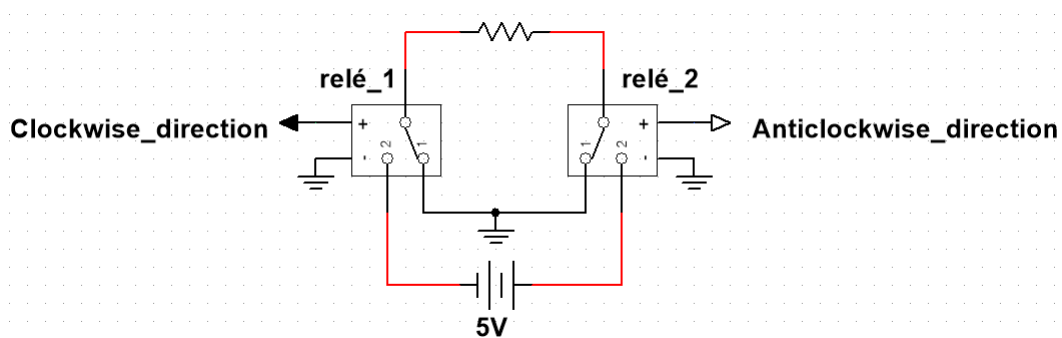


Fig. 4.6. Esquema electrónico de un puente h con relés

Para nuestro circuito usaremos dos relés TQ2-L2-5V, al presentar un reducido tamaño conveniente para el proyecto. La característica de este tipo de relés es que mantienen su posición mientras no se aplique una diferencia de potencial diferente a sus pines (generalmente en los relés la posición es 1/0 dependiendo si se aplica o no corriente, es decir, no hay que invertir la polaridad).

Para el circuito de Arduino (cuyo código se encuentra en el Anexo III), se monta según el esquema eléctrico de la figura 4.6. Para ello, se han utilizado 4 pines (9-12) para controlar la polaridad de los relés, de modo que cuando una señal de entrada para abrir o cerrar la válvula se detecta a través de los pines 7 y 8, se activan los relés para hacerlo girar la dirección deseada durante un tiempo establecido por el usuario. Una vez transcurrido el tiempo, se colocan ambos relés en la posición de neutro para frenar el motor, y se desactivan las salidas para ahorrar en el consumo del Arduino. Conectando los pines de acuerdo al código terminamos con el siguiente circuito:

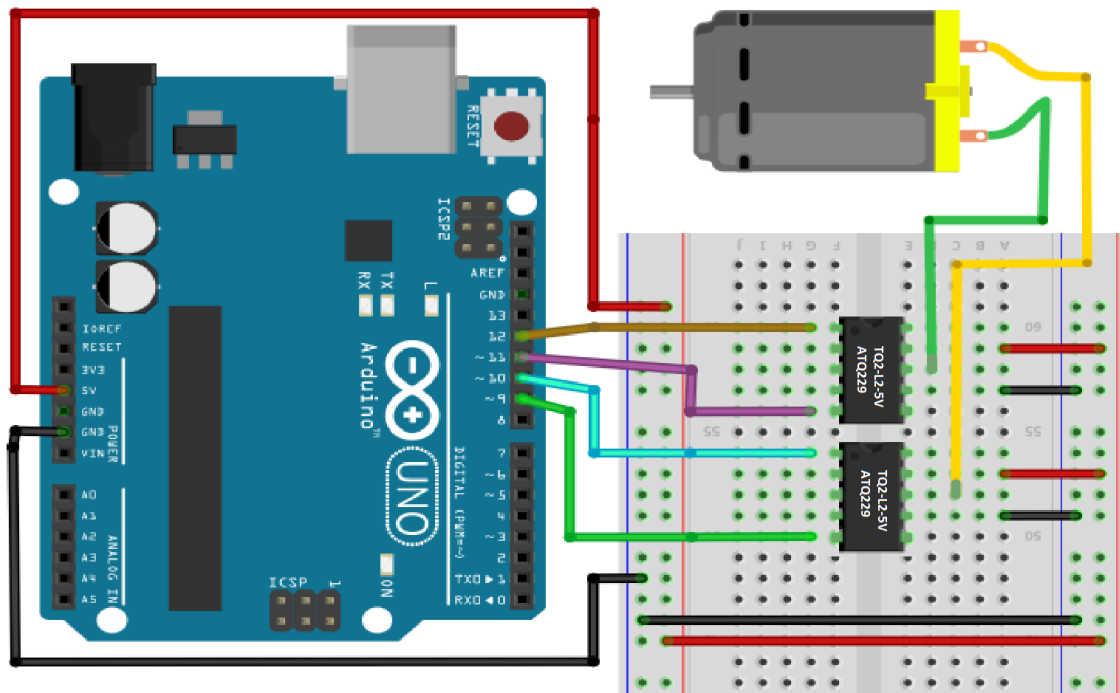


Fig. 4.7. Conexiones del circuito al arduino

5. PROTOTIPO FINAL

En los anteriores apartados, se ha dispuesto una idea general de la forma y estructura que tendrá la válvula. Si bien, no es hasta este momento, que contamos con los detalles técnicos del sistema completo, cuando podemos hacer el diseño final y ensamblaje del prototipo que se implementará en el globo meteorológico. Los planos de todas las piezas necesarias de fabricación, se pueden encontrar en el anexo II, con las medidas en mm y tolerancias máximas de 0,4mm (igual a la tolerancia de la impresora 3D utilizada).

5.1. Sistema de cierre

El sistema de cierre elegido en el apartado 3.3.1, fue el de un pistón con rosca hembra, que desplazaba verticalmente en función del giro de un tornillo. Actualmente, la precisión de las impresoras es limitada, y no cuentan con la necesaria para hacer un roscado de tamaño reducido. Además, las roscas realizadas con impresión 3D, no se caracterizan por su dureza, sino que se deforman con gran facilidad por problemas de abrasión y fatiga. Por estos motivos se ha optado por utilizar un tornillo y tuerca con rosca M4, como sustituto. El pistón está diseñado de manera que a mitad de la impresión se pueda pausar, e introducir en un espacio reservado la tuerca. Al continuar la impresión, se deposita material sobre la tuerca, quedando embebida en el pistón sin que pueda desplazarse en ninguna dirección.

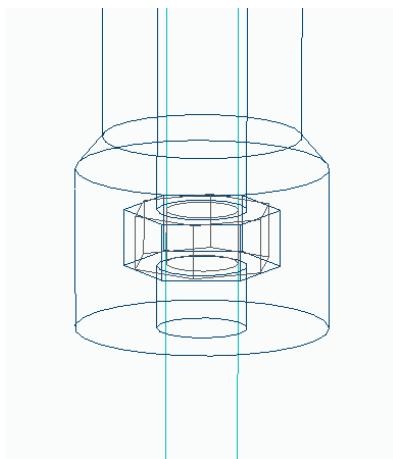


Fig. 5.1. Dibujo de la tuerca dentro del pistón

La pieza debe colocarse con rapidez, de manera que la impresión esté el menor tiempo parada. De no ser así, el material de la última capa depositada antes de la parada, se enfriará demasiado, y su adhesión con la primera capa posterior a la parada será mucho más reducida, pudiéndose llegar a desprenderse, haciendo la pieza no válida.

En el pistón se han añadido dos topes, que están emparejados con la carcasa, de ma-

nera que cuando el tornillo gire, el pistón no lo haga con él.

5.2. Sujeción del motor

Para transmitir la rotación del motor al tornillo roscado, se ha cortado la cabeza del tornillo, y se han conectado por medio de un acoplador, cuyas medidas están especificadas en el plano acoplador rosca-motor del anexo II. Esta pieza ha sido fabricada con un taladro a partir de una barra de aluminio, y sujeta tanto el motor como el tornillo roscado mediante dos tornillos de métrica M3 que atraviesan perpendicularmente al eje principal de la barra.

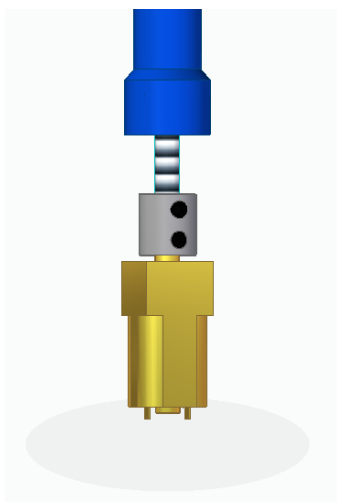


Fig. 5.2. Acoplador entre el motor y la rosca

Además de conectar el motor y la rosca, ambos deben estar situados a una distancia constante a la carcasa, de manera que cuando el husillo gire, en lugar de que el tornillo trepe por el interior del pistón, - acercando/alejando el motor a la carcasa, pero manteniendo el pistón en la misma posición - sea el pistón el que se desplace verticalmente con respecto a la carcasa.

Del mismo modo debe evitarse que sea el estator – parte exterior del motor - el que gire, ya que el movimiento sería completamente inútil, sino que manteniendo un giro relativo nulo entre la carcasa y el estator, exista un giro relativo entre estos (y consigo el pistón) y el rotor.

Para cumplir estas condiciones se ha diseñado una pieza, compuesta de dos partes, que irá pegada a la carcasa de la válvula, y en la que irá introducido el motor junto a la rosca. Las dos partes son el encastre del motor y el separador. Estas partes se han diseñado por separado de manera que su fabricación sea posible con una impresora 3D, y ambos planos se pueden encontrar en el anexo II.

A pesar de que el acoplador haya sido fabricado, se podría haber adquirido en una tienda de electrónica. De manera que a la hora de calcular los presupuestos del proyecto, en lugar de contabilizar esta pieza como horas de trabajo de técnicos, se anotará el precio del acoplador Poly-Flex PFP 1520 04/04.

5.3. Propiedades de impresión

Para imprimir las piezas, se han seguido las conclusiones obtenidas en el ensayo de permeabilidad del apartado 3.2.1, en donde se demuestra que el patrón que mejor comportamiento presenta, es el concéntrico para el infill, y el de líneas para las capas inferiores y superiores. Además, el espesor mínimo de las paredes de la pieza es de 3mm, con una pared de grosor inferior y exterior de 1.2mm, siempre que la estructura no necesite un mayor grosor para el soporte de cargas.

Las medidas de las piezas, se han escalado de acuerdo con la tuerca de métrica M4 utilizada y siempre cumpliendo el espesor de la pared mínimo de 3mm. Además, aquellos ángulos que se imprimen sobre vacío, tienen un mínimo de 50° con la horizontal, para evitar la necesidad de imprimir soportes, lo que termina dando un acabado más rugoso que podría afectar a la unión entre piezas.

Como excepción a la hora de generar el código de impresión de las piezas (el gcode), la pieza del separador y de la tapa de la válvula utilizarán el patrón de infill de “concéntrico 3D”. Esto se debe a que son las piezas que mayores tensiones van a soportar, y como se observó en el ensayo de permeabilidad, el patrón concéntrico 3D aumenta la rigidez del material, sacrificando considerablemente las propiedades impermeables. No obstante, la pieza del separador no necesita ser impermeable, puesto que como se verá en el siguiente apartado de ensamblaje, se sitúa en el exterior del flujo cerrado de la válvula. Por otra parte, la tapa irá conectada a la boquilla del globo, de manera que el único riesgo de fuga se presenta en la parte más ancha de la tapa. Para evitar esto, se realizara un patrón parcial, en el que la parte superior será concéntrico 3D, y la parte inferior (y más ancha) se utilizará concéntrico normal.

5.4. Ensamblado

A la hora de montar el sistema de reutilización de globos meteorológicos, se deberán de contar con las siguientes piezas:

1. Tapa de la válvula
2. Pistón de la válvula (con una tuerca M4 en su interior)
3. Junta de plástico cilíndrica (Diámetro interior 14mm, Diámetro exterior 32mm)
4. Carcasa de la válvula
5. Tornillo con rosca M4 de longitud 35mm
6. Separador
7. Acoplador motor-rosca (04/04)

8. Motor RS PRO (ref. 752-2002)
9. Encastre del motor
10. Acoplador de cables (macho y hembra)
11. Cable AWG26 con recubrimiento de silicona (el necesario para conectar dos cables del paquete a la boquilla del globo)
12. Dos relés TQ2-L2-5V

De forma previa al montaje, la estructura principal de la válvula (tapa, carcasa y pistón) deberán de ser sometidos al tratamiento especificado en el apartado 3.2.3, teniendo especial precaución de no introducir esmalte en el agujero del pistón por el que desliza el tornillo.

Una vez las piezas se han impermeabilizado, se puede proceder al montaje de la válvula. En el plano del explosionado, se pueden encontrar la disposición de las piezas para el montaje. Las conexiones son de tal manera que las piezas pegadas entre sí para que se comporten como un único sólido son: la tapa de la válvula, la carcasa de la válvula, el separador y el encastre del motor. Estas piezas se unirán con cianoacrilato (super glue), y posteriormente se aplicará otra capa de esmalte a las conexiones para evitar las fugas por estos orificios

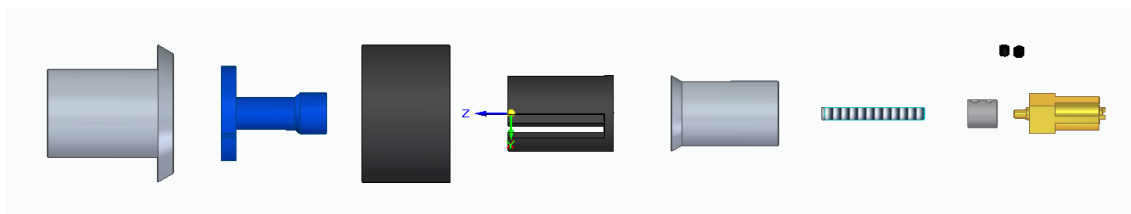


Fig. 5.3. Explosionado de la válvula

Por otra parte, el rotor del motor está conectado a la rosca por medio del acoplador, y el estator, pegado al encastre para evitar el desplazamiento longitudinal del mismo. Finalmente, la junta colocada de manera libre dentro de la carcasa y atravesando el pistón, que se enroscará parcialmente al conjunto del motor con tornillo.

El diseño mecánico de la válvula una vez montada será similar al mostrado en la imagen 5.4

Una vez la mecánica de la válvula esté conectada, se procederá al montaje eléctrico. Una vez se tenga el montaje del circuito con los relés conectados a las salidas correspondientes del Arduino, se sueldan los cables del motor al conector hembra en el extremo más cercano a la válvula. Finalmente, próximo al motor, se suelda al conector macho el resto del cable que ira conectado al motor, respetando la polaridad del motor programada en el código.

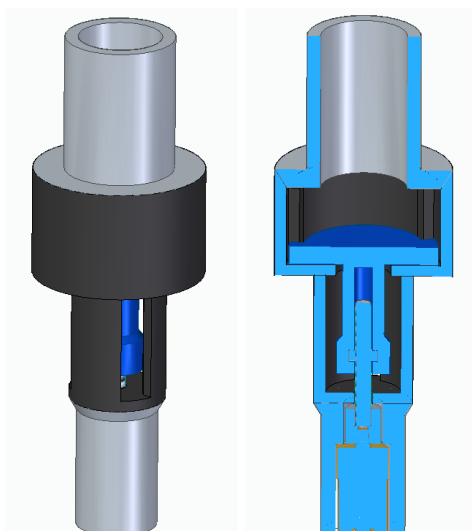


Fig. 5.4. Ensamblado del prototipo

5.5. Montaje en el globo

A la hora de conectar la válvula a la boquilla del globo, se debe de hacer una vez el globo esté completamente lleno. Para ello, se introduce la boquilla estrecha de la tapa por el interior de la parte de goma rígida de del globo, hasta que llegue el ensanchamiento de la válvula. De esta forma, el globo no tendrá problemas de fuga en la tapa de la válvula.

Para el agarre del paquete, la cuerda de agarre entre el paquete y el globo, se monta de forma similar al del lanzamiento de un globo meteorológico sin válvula, con la única variante de que el nudo se realiza en la parte superior de la tapa, por encima del látex del globo que la cubre. Aunque el propio nudo de la cuerda de agarre debería bastar para sujetar la válvula (dado que el diámetro está diseñado para quedar prieto con la boquilla del globo), para asegurar la sujeción se recomienda el uso de una brida de plástico.

Para la comunicación del cable, se recomienda que el conector se encuentre cerca del globo, de manera que en caso de desconexión, la mayor parte del cable se encuentre conectado al paquete. Así, el globo será lo más ligero posible, asegurándonos que el globo de látex con la válvula tenga una masa menor a 2 kg de manera que, cumpliendo con la normativa explicada en el apartado 1.3, no suponga un riesgo legal su vuelo.

Para la colocación del paracaídas, para las primeras pruebas se recomendaría la utilización de un paracaídas dispuesto en triángulo, dado que en caso de fallo de la válvula, el globo explotará y la masa de los restos de látex junto a la válvula, serán suficientes para caer a un nivel inferior que el paracaídas (véase el apartado 2.1.1).

Una vez se compruebe la eficacia del sistema, la mejor colocación de la sonda sería en línea con el paracaídas en el centro, ya que se espera que el helio restante en el globo, sea suficiente como mantenerlo en la parte superior de la sonda (aunque el módulo se encuentre en caída). Asimismo, la fuerza de rozamiento del aire con el globo, lo frenará manteniendo la posición en línea.

5.6. Ventajas y limitaciones

Dado que el módulo de recuperación está diseñado únicamente con los objetivos que se marcaron al inicio de la memoria, el sistema presenta unas limitaciones frente a su uso fuera del objetivo principal. En esta sección se explicará su funcionamiento, atendiendo a fenómenos que se dan durante el vuelo del globo.

El sistema está únicamente pensado para globos meteorológicos elásticos, concretamente de látex. Si el material fuese un polímero con un módulo de recuperación mucho menor que el del látex, corre el riesgo de que la propia tensión del globo no sea suficientemente grande para expulsar suficiente aire fuera del globo y así reducir su fuerza flotante. El mismo problema ocurriría con un globo de presión cero, en donde sería necesario incorporar una manera de extraer de manera forzada el gas del interior.

5.6.1. Control de velocidad

Considerando la aproximación de que la velocidad de ascenso es constante, la válvula únicamente permite extraer helio, no introducirlo, de manera que si se desea controlar la velocidad de ascenso, el sistema únicamente permite reducir dicha velocidad, no aumentarla. De forma opuesta ocurre con la velocidad de descenso, una vez se ha extraído gas, no se puede volver a introducir, de manera que en la caída únicamente se puede acelerar, no reducir.

A la hora de abrir la válvula, es necesario tener en cuenta que existe la posibilidad de que cuando se abra, el globo experimente una aceleración en dirección contraria al suelo. Esta subida se debe a la salida a gran velocidad del helio por la válvula, aunque posterior a esa aceleración le seguirá una deceleración, ya debida a la reducción de la fuerza flotante del globo. Cuando se vuelva a cerrar la válvula, la velocidad de caída aumentará de nuevo, eliminándose la componente de aceleración debida a la salida del gas.

Estos dos últimos motivos, unidas a la incertidumbre del giro del motor de corriente continua, que limitan enormemente la posibilidad de hacer que el globo se mantenga a una altura constante. Para ello se necesitaría un controlador de gran precisión, así como un buen respaldo de experimentos previos o conocimiento cuantificable sobre las velocidades del globo y su procedencia.

A la hora de descender, para recuperar el globo sin ningún daño, es necesario no vaciar por completo el globo, ya que, aunque durante la caída el globo esté en la parte superior de la sonda, una vez alcance tierra, el látex puede caer por su propio peso aterrizando en el suelo, pudiéndose dañar la superficie del mismo, lo que empeoraría enormemente su funcionamiento en el siguiente vuelo. Para evitar este problema, se puede mantener suficiente helio en el globo de manera que aunque el paquete caiga, el globo tienda ascender. Esto se puede conseguir de manera sencilla con una cuenta, en la que el objetivo sea que la fuerza flotante del globo sea igual a la masa del mismo vacío. Conociendo la acelera-

ción de la sonda con un acelerómetro en la sonda (generalmente todas las sondas llevan uno para calcular su posición), se puede obtener que la válvula se debe de cerrar cuando la aceleración de caída sea un poco menor a la mostrada en la ecuación:

$$\sum F = m_{total} \cdot a = F_{gravedad} - F_{flotacion} \quad (5.1)$$

$$a = \frac{m_{paquete} \cdot g}{m_{paquete} + m_{globo}} \quad (5.2)$$

Aunque sería necesario tener en cuenta la fuerza generada por la salida del helio, y que la gravedad a dicha altura no es la misma que en la superficie, la estimación es suficientemente buena como para que el globo no caiga por completo al suelo. Además, la implementación de esta medida, facilitaría la recuperación del mismo, haciendo más sencillo su avistamiento visual.

Por otra parte, es importante destacar que si no se extrae suficiente helio, la caída sería demasiado lenta, y la sonda se podría desplazar lateralmente grandes distancias, pudiendo llegar a ser imposible su recuperación por diferentes motivos. Por otra parte, generalmente el tiempo de vuelo de un globo sonda suele estar medido dependiendo del permiso. Si la caída es demasiado lenta, los horarios se pueden exceder.

5.6.2. Reutilización del material

Para terminar, es necesario desarrollar la limitación principal del proyecto, que viene comprendida por la falta de conocimiento sobre las propiedades del material de los globos meteorológicos. Para conocer si un globo se puede reutilizar, en última instancia, es necesario saber si, aunque el globo no explotase en el aire y se vaciase, se podría volver a inflar, y si es así, con qué limitaciones.

Como ya se ha comentado, los globos están hechos de látex, un polímero natural viscoelástico. Los materiales viscoelásticos se caracterizan por la dependencia del tiempo en sus propiedades mecánicas. Al aplicar una tensión a un material viscoelástico, su deformación aumentará a medida que avanza el tiempo. De la misma forma, cuando se retire la carga, la deformación se reducirá con el paso del tiempo, hasta volver a su estado inicial.

Adicionalmente, si transcurre un periodo de tiempo superior al aplicado a la carga, todas las propiedades del polímero se pueden recuperar. Esto significa que en relación a tensiones mecánicas el globo se podría reutilizar de manera indefinida. No obstante, es necesario tener en cuenta otros factores como la degradación del material, o que con cada vuelo aumenta la probabilidad de que se haya creado una concentración de tensiones en el globo (muesca, grieta...). A todo esto, hay que añadir lo mencionado en capítulos anteriores: el comportamiento mecánico de los elastómeros es muy difícil de predecir. A día de hoy todavía se investigan nuevos modelos que puedan predecir con suficiente

precisión las propiedades mecánicas de estos materiales, sin necesitar realizar ensayos con cada una de las muestras.

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En esta memoria se han expuesto todos los procesos llevados a cabo para el diseño del sistema de reutilización de un globo meteorológico. Durante todo el proceso, se han conocido las dificultades que presenta fabricar un dispositivo cuya masa sea mínima, capaz de adaptarse y funcionar bajo las condiciones de la estratosfera.

Como resultado del proyecto, se ha producido una electroválvula automática para controlar la salida de helio a partir de un motor de corriente continua y un mecanismo de piezas fabricadas con impresora 3D, y tratadas con una pintura superficial para evitar fugas de gas. Desde el diseño del sistema de cierre hasta la electrónica utilizada, se han evaluado diversas alternativas al proyecto, analizando las ventajas e inconvenientes que presentaban cada una de ellas para su posterior selección.

Entre los ensayos realizados, se destaca el destinado a comparar la impermeabilidad de piezas fabricadas por FDM variando los distintos parámetros de su código gcode, demostrando que, para lograr una completa estanqueidad, es necesario el uso de postratamientos sobre su superficie.

Retomando los objetivos del proyecto marcados al inicio de la memoria, podemos afirmar que se ha cumplido cada uno de ellos, aunque algunos de forma parcial:

1. La masa total del módulo depende de la longitud de la cuerda que conecte el paquete con el globo, pero si esta longitud es de 20m (una longitud del orden usada en los globos sonda), la disposición de masas es la siguiente:

Componente	Masa (g)
Válvula	55
Accionador	15
Cable	70
Conector	3
Total	143

TABLA 6.1. DESGLOSE DE MASAS DE LA VÁLVULA

Para una carga máxima de 2kg, esto supone una reducción de solo el 7,15 % de la carga eficiente que puede llegar a levantar el globo. Esta reducción de la carga es mínima, cumpliendo con creces el objetivo impuesto de una masa total menor de 300g.

2. Los componentes electrónicos expuestos a las condiciones atmosféricas, están preparados de tal manera que soporten correctamente las temperaturas a las que estarán

expuestos. Por otra parte, aquellas que no están diseñados para aguantarlas se encontrarán en una caja correctamente aislada de dichas temperaturas. Del mismo modo, las bajas presiones y la radiación no deberían de suponer ningún riesgo para el circuito.

En caso de fallo de apertura de la válvula, la sonda se comportaría del mismo modo que si en ningún momento se hubiese colocado la válvula: ascendiendo hasta alcanzar el punto en el que explota, finalizando el paquete en caída libre. Por otra parte, si la salida del helio, forzada por la fuerza de recuperación del globo, no fuese suficiente para realizar el descenso de la sonda, se podría optar por dos alternativas. La primera, esperar. Como se comentó el globo es un material viscoelástico, de manera que cuanto más tiempo transcurra desde la apertura de la válvula, el globo tratará de volver a su tamaño inicial, expulsando mayores cantidades de helio. Si esta opción no es válida debido a que el problema reside en la apertura de la válvula, o no resulta suficiente como para hacer bajar el globo, se podría optar por desconectar el paquete de la válvula. Resultando en la caída del paquete.

3. El coste de los materiales para la fabricación de una válvula es de 31,03€ como se puede observar en la tabla mostrada a continuación. Con los precios disponibles para los globos meteorológicos en “highaltitude-science.com” si se deseara alcanzar la altura de un globo de 1200g (120€), se podría adquirir un globo de 1500g (150€) para asegurar el alcance de la altura deseada. Con únicamente la recuperación del globo en un viaje, el dispositivo supone el ahorro de casi 60€. Además, por cada recuperación exitosa extra el ahorro aumenta en 120 €.

Componente	Coste (€/ud.)
Piezas 3D (51g de ABS)	1,09
Motor DC	11,21
Acoplador mecánico	8,85
Cable (20m)	4,64
Acoplador de Cable	1,74
Relé TQ2-L2 (x2)	3,5
TOTAL	31,03

TABLA 6.2. COSTE DE MATERIALES DE LA VÁLVULA

Con los valores mostrados, la rentabilidad del dispositivo es evidente. No obstante, muy posiblemente los centros de meteorología tengan ofertas especiales, debido al gran número de globos que suelen usar, y para hacer un estudio sobre la rentabilidad real del dispositivo, sería necesario un estudio previo de la degradación del globo.

4. El dispositivo se ha diseñado de manera que cumpla con la normativa más estricta impuesta para los globos meteorológicos clasificados en la categoría de globos

pesados. Si el sistema falla, la desconexión asegura la caída del paquete a tierra, sacrificando la recuperación de la válvula. Dicha desconexión desemboca en la nueva clasificación del paquete como globo ligero (debido a su masa inferior de 2kg), cuya regulación es menos restrictiva.

5. Para terminar, como se explicó en el apartado x, con un controlador se puede lograr un control aproximado de la velocidad de ascenso y descenso del globo, aunque el control se ve limitado a una reducción de la velocidad de ascenso y un aumento de la de caída.

De esta manera, se concluye en que el diseño y fabricación de una electroválvula para el vaciado automático de un globo se ha logrado satisfactoriamente. El dispositivo está listo para realizar pruebas en globos meteorológicos, y comprobar su correcto funcionamiento bajo las condiciones externas.

6.1. Líneas futuras

Como se ha podido observar en la memoria, aunque el diseño del dispositivo se ha finalizado, es necesaria la realización de pruebas e investigaciones para comprobar su efectividad y rentabilidad. Los puntos propuestos para realizar estos objetivos serían los siguientes:

- **Prueba de distintos materiales.** Uno de los mayores problemas encontrados a la hora de realizar el proyecto ha sido lograr la estanqueidad completa de las piezas fabricadas con FDM, lo que plantea que se podrían fabricar piezas igual de útiles, y con masas similares a partir de otros materiales y métodos de fabricación. Aluminio moldeado con una CNC, o piezas de plástico fabricadas por inyección son algunas de las ideas que se pueden investigar para lograr una fabricación más sencilla y con posibles mejores resultados.
- **El diseño de un controlador** para abrir y cerrar la válvula cuando sea indicado, sería uno de los primeros objetivos antes de montar el sistema en un globo. Esto se podría realizar a partir del GPS o el acelerómetro que la sonda utiliza para calcular la altura a la que se encuentra e informar a tierra. Esta tarea no debería de presentar mayores complicaciones, pero para realizarse se tendría que conocer el sistema de rastreo que utiliza el globo, para minimizar el aumento de dispositivos y masa en la sonda.
- **Pruebas bajo las condiciones de trabajo.** Aunque el diseño de la válvula está diseñado y planteado para que puedan soportar dichas condiciones, es recomendable su comprobación, dado que pueden surgir una gran cantidad de fallos. Como pruebas específicas, se plantea un ensayo de carga transversal en la tapa de la válvula, y una prueba del sistema a bajas temperaturas. Para comprobar su funcionamiento a

bajas temperaturas, es posible que el sistema se agriete se pone bajo las condiciones de golpe (debido al shock térmico), para evitarlo se recomienda realizar el cambio de temperatura de manera gradual, como ocurre en las condiciones de trabajo real.

■ **Un estudio que marque la fatiga y degradación de los globos meteorológicos.**

A la hora plantear cómo se iba a colocar la válvula en el globo, se realizó un breve ensayo para analizar si la fuerza de recuperación del globo era suficiente para reducir la fuerza flotante lo suficiente. El ensayo nos daba una estimación bruta de la situación real, pero los resultados eran lo suficientemente buenos como para probar la cuestión planteada.

No obstante, a la hora de reutilizar el globo nos encontramos con una pregunta crucial, ¿Cuántas veces se puede reutilizar un mismo globo meteorológico? ¿Qué dependencia tiene en ello la altura máxima que alcanza? Estas preguntas no se pueden responder en un ensayo con globos de fiesta, sino que es necesario tomar muestras del material específico del globo, y realizar ensayos de fatiga a tracción, con una deformación máxima marcada y una velocidad de deformación muy baja, simulando las condiciones de los globos.

Por supuesto, la realización de pruebas con globos meteorológicos sería mucho más fiable, aunque mucho más cara. Pero se podría realizar con globos de un tamaño reducido (200g-700g), cuyo precio es de alrededor de 40€.

Tanto el trabajo de fin de grado presentado en esta memoria como las líneas futuras expuestas en el mismo se consideran que tienen margen de mejora, de manera que el diseño sea más eficaz, seguro, rentable y fácil de implementar. No obstante, en esta memoria se han presentado los cimientos que conforman el primer prototipo funcional del sistema para la reutilización de globos meteorológicos.

7. PLANIFICACIÓN DEL TFG Y PRESUPUESTOS

En este apartado se muestra la planificación del tiempo y recursos empleados para la realización del trabajo de fin de grado. Para ello se ha analizado la inversión realizada a lo largo del tiempo una vez ya se ha finalizado el proyecto.

7.1. Diagrama de Gantt

La fecha de comienzo del trabajo se establece el 12 de febrero de 2019, y la de finalización el 14 de Junio de 2019. Una vez se ha asignado el TFG, fue necesario un planteamiento del problema así como una investigación sobre el estado de la cuestión y sus dificultades.

Cuando se adquirieron los conocimientos básicos sobre el problema planteado, decidió abordarse desde dos puntos de vista: el mecánico, y el electrónico. En el primero, se planteaba el diseño que tendría la válvula, así como su fabricación. Y en el segundo, el circuito y control de la mecánica a través de un microcontrolador Arduino.

De esta forma se comenzó realizando un breve diseño de la estructura que tendría la válvula, y decidiendo su colocación y método de fabricación. Una vez decidido que se utilizaría una impresora 3D para fabricar el dispositivo, se procedió con el ensayo de permeabilidad de las piezas, el cual ha sido con diferencia la tarea más amplia realizada en durante el proyecto, tuvo como comienzo el 23 de marzo. Esta tarea se fue alargando más de lo esperado debido a una serie de averías en la impresora que retrasaban la fabricación de las piezas y que las condiciones de estanqueidad no se lograban.

Es por ello que se comienza a trabajar de forma paralela en el diseño de la estructura y cierre de la válvula. Finalmente, tras concluir en que no se puede lograr una buena estanqueidad en el tipo de piezas diseñadas por FDM, con fecha del 1 de mayo se decide optar por el uso de tratamientos superficiales que aseguren el objetivo.

El mismo día que comienza el ensayo de tratamientos para la estanqueidad, se finaliza el diseño de la estructura del módulo y se da comienzo con el diseño del circuito electrónico que controlará la válvula, cuya fecha de fin se marca como el 24 de mayo.

Finalmente, la búsqueda del postratamiento para las piezas finaliza el 6 de Junio. De manera que se procede al diseño y montaje del prototipo final.

La memoria de trabajo se redacta durante los meses de mayo y junio hasta la fecha final del proyecto.

Bajo el seguimiento de las mayores tareas realizadas, se puede realizar un diagrama de Gantt que se muestren de forma ordenada:

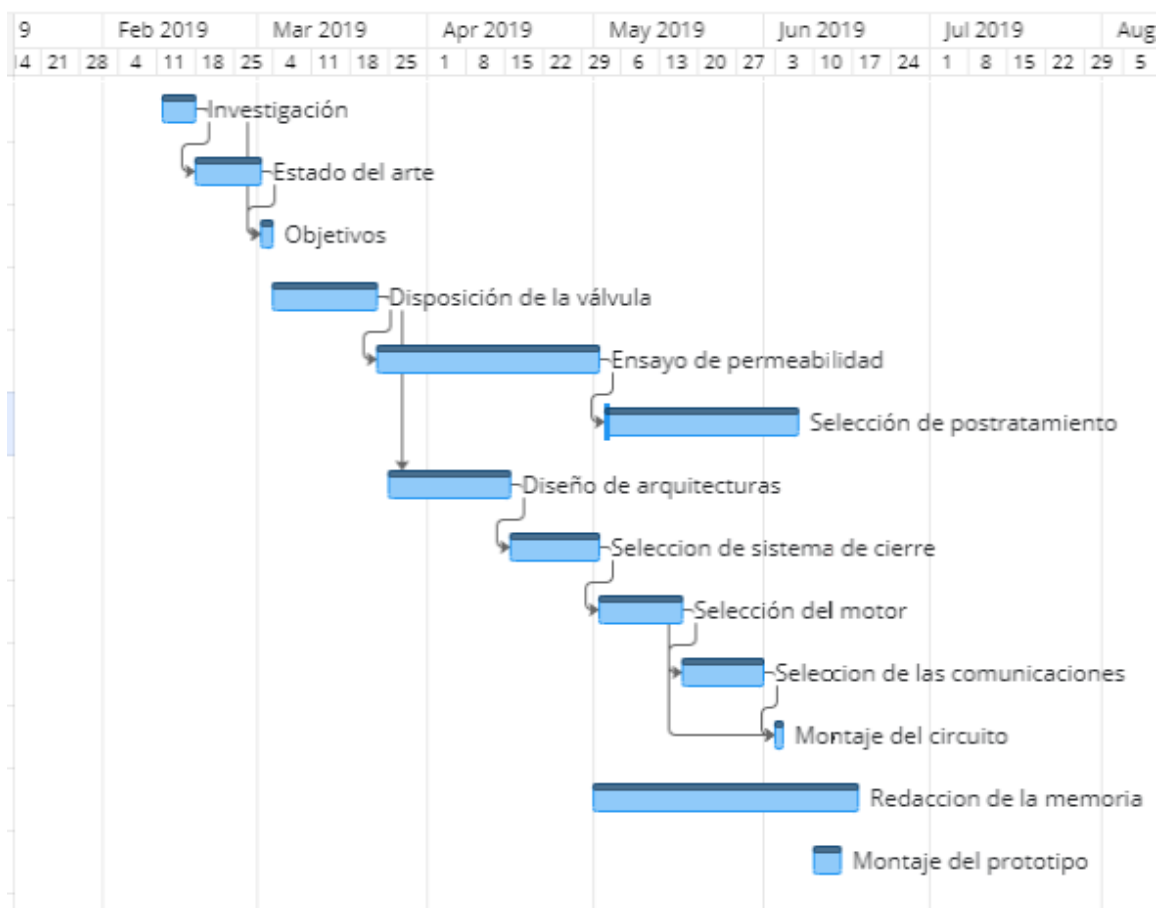


Fig. 7.1. Diagrama de Gantt

7.2. Presupuestos

A la hora de realizar los presupuestos, se presentan los datos sobre los costes de los materiales y herramientas utilizadas a la hora de realizar el proyecto de investigación.

7.2.1. Coste del personal

En el proyecto ha trabajado Jose María Moreno Ivañez de Lara como becario investigador principal del proyecto, así como autor de esta memoria y Oscar Raúl Enriquez Paz y Puente como tutor y responsable del becario.

Como trabajo del investigador, se ha calculado una jornada de 15h semanales con 7 días de vacaciones, a lo que hay que añadir en las dos últimas semanas 6 horas extra al día (dado que en esas semanas se liberaron las tareas impuestas por otras asignaturas de la universidad, y era necesario cumplir con los plazos establecidos). Esto da un total de 324h de trabajo realizado durante el proyecto.

Como horas trabajadas dedicadas al proyecto por el tutor, se estima un 20 % del trabajo del becario.

De esta forma, tomando como salario del becario 15€/h y como salario del tutor se toma el valor de 60€/h, obtenemos la siguiente tabla de precios

Concepto	Unidades
Horas trabajadas becario (h)	324
Horas trabajadas tutor (h)	69
Coste por hora trabajada becario (h/€)	15
Coste por hora trabajada tutor (h/€)	60
Costes total personal (€)	9000

TABLA 7.1. COSTE DEL PERSONAL

7.2.2. Coste del material

En cuanto a los materiales utilizados, existe un gran número de herramientas cuyo coste de amortización, no se vería justificado si solo se tuviesen en cuenta las horas en las que se han utilizado para este proyecto. Esto es: la impresora 3D, los vasos de precipitado, las jeringuillas, la balanza. . . Es por ello que no se tendrán en cuenta esta serie de gastos, ya que el coste del mismo es prácticamente nulo, y se podría conseguir en un espacio “maker” de manera gratuita. Ignorando estos gastos nombrados, la lista de materiales utilizados para los experimentos con sus respectivos precios es la siguiente

Concepto	Importe (€)
Globos de fiesta	6,20
Filamento 1kg ABS	21,50
Filamento 500g PET-G	10,75
Spray rellenedor de poros	20
Esmalte acrílico en spray	8,56
Esmalte sintético S5040-Y80R	15,98
Papel de lija	0,90
Motor DC	11,21
Acoplador mecánico	8,85
Tornillo y tuerca M4	1,80
Cable de silicona (10m)	2,63
Arduino UNO	18,70
Protoboard	8
Relé TQ2-L2 (x2)	7
Electrónica varia	10
Acoplador de Cables	1,74
Total	153,64€

TABLA 7.2. COSTE MATERIALES

El coste de las muestras de las pinturas utilizadas para el ensayo de permeabilidad con tratamientos superficiales, se ha descontado puesto que en las ferreterías se pueden adquirir pequeñas muestras gratuitas que bastan para realizar la prueba. Asimismo, como ya se comentó, las horas de trabajo realizadas por los técnicos para fabricar el acoplador se han sustituido por el precio de uno en el mercado.

7.2.3. Costes totales

Los costes totales para la elaboración del trabajo de fin de grado realizado son la suma de los costes del personal y del material no amortizable.

Concepto	Importe (€)
Coste del personal	9000
Coste de materiales	153,64
Coste total	9153,64

TABLA 7.3. COSTES TOTALES

Se concluye en que el coste total del TFG es de nueve mil ciento cincuenta y tres euros con sesenta y cuatro céntimos: 9.153,64€

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. W. Service. (). Weather Balloons, [En línea]. Disponible en: https://www.weather.gov/bmx/kidscorner_weatherballoons. (fecha de acceso: 03.05.2019).
- [2] BOE. (). Real Decreto 1180/2018, [En línea]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-15406. (fecha de acceso: 06.05.2019).
- [3] E. eRules. (). Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air (SE-RA), [En línea]. Disponible en: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%5C%20Access%5C%20Rules%5C%20for%5C%20Standardised%5C%20European%5C%20Rules%5C%20of%5C%20the%5C%20Air%5C%20%5C%28SERA%5C%29.pdf>. (fecha de acceso: 06.05.2019).
- [4] ISO. (). ISO 17717:2017: Meteorological balloons - Specification, [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17717:ed-1:v1:en>. (fecha de acceso: 15.03.2019).
- [5] E. G. Gordeev, A. S. Galushko y V. P. Ananikov, “Improvement of quality of 3D printed objects by elimination of microscopic structural defects in fused deposition modeling”, *PLOS ONE*, vol. 13, n.º 6, pp. 1-19, jun. de 2018. doi: [10.1371/journal.pone.0198370](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198370). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198370>.
- [6] M. P. C. de la Barca. (). Breve Historia de la Meteorología, [En línea]. Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/conocenos/nuestra_historia/breve_historia_meteorologia.pdf. (fecha de acceso: 03.05.2019).
- [7] SpaceX. (). Es'hail-2 Mision broadcast: min 10, [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=PhTbzc-BqKs&feature=youtu.be>. (fecha de acceso: 03.05.2019).
- [8] I. Martínez, “Balloons”, *Annalen der Physik*, vol. 322, n.º 10, pp. 3-5, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/ot1/Balloons.pdf>.
- [9] Stratostar. (). How big are high altitude weather balloons?, [En línea]. Disponible en: <https://stratostar.net/faq/>. (fecha de acceso: 15.03.2019).
- [10] R. T. C. Tim Basta Scott Miller, “Weather Balloon Altitude Control System”, 2015. doi: http://www.ece.montana.edu/seniordesign/archive/FL14/WeatherBallon/docs/final_report.pdf.
- [11] D. G. K. John Siepierski, “Autonomous Altitude Control Device for Latex HAB”, 2015. doi: <https://via.library.depaul.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.es/&httpsredir=1&article=1038&context=ahac>.

- [12] A. Kräuchi et al., “Controlled weather balloon ascents and descents for atmospheric research and climate monitoring”, *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 9, n.º 3, pp. 929-938, 2016. doi: [10.5194/amt-9-929-2016](https://doi.org/10.5194/amt-9-929-2016). [En línea]. Disponible en: <https://www.atmos-meas-tech.net/9/929/2016/>.

Anexo I: Ensayo de permeabilidad

1. Diseño del ensayo

En este ensayo se va a proceder a comparar la capacidad de impermeabilidad de piezas impresas con la impresora BCN3D Sigma. La finalidad del experimento trata de encontrar la influencia de los distintos parámetros que se pueden variar a la hora de imprimir una pieza en 3D, en la capacidad impermeable de la propia pieza.

Las piezas son de geometría similar, un cilindro hueco con únicamente uno de sus extremos tapados. Inicialmente podemos pensar que al cambiar de geometría las propiedades de la pieza cambiarán por completo, y es posible, pero la geometría de esta pieza no se ha elegido aleatoriamente. El diseño inicial de la válvula se trata de una pieza en revolución, cuyas paredes no son más secciones circulares de mayor o menor diámetro. Es por ello que un cuenco, donde las secciones de planta siguen el mismo patrón, es directamente la geometría más simple cuyas propiedades serán las más parecidas a las partes de nuestra pieza final.

Partiendo de la misma geometría, se variarán características del diseño de las piezas (el espesor) y sobretodo diferentes parámetros del *slicer* para la producción de la pieza con la impresora 3D. El *slicer* es el nombre que reciben los programas cuya finalidad es la de transformar los archivos CAD, a código capaz de leer la impresora 3D. En él, tras introducir el modelo de la pieza, se definen diferentes parámetros como el infill (patrón y porcentaje de relleno que tendrá la pieza), el grosor de las paredes exteriores, el patrón y grosor de las partes superior e inferior de la pieza... Para encontrar una pieza con unas buenas características de permeabilidad, iremos variando estos parámetros nombrados, y analizando su influencia en la permeabilidad final de la pieza.

2. Análisis matemático:

Para este ensayo todas las piezas se enrasarán con una disolución de agua y jabón muy diluida, ya que el jabón, al ser un tensoactivo ayuda a reducir la tensión superficial del agua, lo que resulta en una mayor fluidez del líquido. Al tener todas las piezas la misma altura, la presión a la que se verán sometidas será la misma. Finalmente, se cubrirá la parte superior de las mismas para evitar que el agua se evapore, la entrada de impurezas, o la influencia de distintas corrientes que puedan estropear el experimento.

Previamente al recubrimiento de la parte superior de la pieza, se pesará el trozo de plástico con el que la pieza se recubrirá y el cuenco. Esto ayudará en el futuro a comprobar el porcentaje de permeabilidad de la pieza en función de las masas.

Posterior al recubrimiento de la parte superior de las piezas, éstas se pesarán con una balanza electrónica, de tal manera que la masa será:

$$m_0 = m_{pieza} + m_{agua} + m_{recubrimiento}$$

Las piezas se dejarán reposar sobre papel absorbente que recoja el agua que se salga de las piezas durante un periodo de tiempo. Una vez haya transcurrido ese tiempo se volverá a pesar cada pieza. La diferencia de masa encontrada será la masa de agua que la pieza ha filtrado.

En este test, la única influyente en la presión que ejerce el agua sobre la base y las paredes del cuenco es la altura que alcanza la misma (La presión atmosférica se cancela con la del exterior del cuenco).

De este modo, definiremos como porcentaje de permeabilidad a la relación de la altura del agua perdida:

$$\%permabilidad = \frac{h_0 - h_f}{h_0} = \frac{m_0 - m_f}{m_0 - m_{recubrimiento} - m_{pieza}}$$

Mostrar como para calcular el %permeabilidad, no es necesario conocer ni el área de la pieza, ni la densidad de la disolución, ya en la ecuación, estas son constantes y se anulan entre sí.

Este porcentaje nos ayudará a tener una relación de la eficacia del método en función de lo grande que sea la pieza.

Errores: El error del porcentaje dependerá únicamente del error de la balanza con la que pesaremos los cuencos (que será la misma y por ello $\Delta m_f = \Delta m_0 = \Delta m$).

$$\Delta\% = \sum \left| \frac{\partial\%}{\partial m_i} \right| \Delta m = \frac{\Delta m}{m_0 - m_{recubrimiento} - m_{pieza}} * \left[3 + \frac{m_f}{m_0 - m_{recubrimiento} - m_{pieza}} \right]$$

3. Experimentos

3.1. Primera tanda de piezas:

Piezas limpias: Para el primer ensayo todas las piezas son colocadas sin ningún tipo de recubrimiento ni tratamiento superficial posterior, de esta manera, sabremos en la dirección en la que orientar las siguientes pruebas.

#pieza	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	% <i>permabilidad</i>
3	13.527	9.107	66.792	61.579	11,81%
4	9.334	3.324	29.427	27.890	9,17%
5.1	9.506	3.727	30.918	29.340	8,92%
5.2	11.985	3.533	X	X	X
6	9.931	3.540	31.957	30.113	9,98%
7	8.464	3.331	30.197	29.460	4,00%
8	11.387	3.064	X	X	X
10	10.197	3.233	X	X	X
11	9.836	3.515	30.338	21.689	50,92%
12	10.347	3.233	X	X	X
13	8.222	3.426	30.499	17.77	67,52%
To	12/03-1245	Tf	14/03-1030	error(%)	±0.025%

Tabla 1: Ensayo en piezas #3-#13 sin tratamiento

Aquellas piezas que tienen una X en sus medidas, significa que una vez se vertió la disolución en ellos, se podía apreciar una fuga de gran tamaño inmediatamente, y por ello el resultado sería nulo.

Calculados los errores, y teniendo en cuenta el error de la balanza ($\pm 0.001g$), obtenemos aproximadamente el mismo error para todas las muestras, de $\pm 0.025\%$.

Resultados: Se encuentra un claro patrón de empeoramiento en aquellas piezas cuyo patrón de infill es distinto al concéntrico.

Sorprendentemente, parece que no existe diferenciación entre las alturas de capa (perfiles), en donde incluso se puede llegar a pensar, comparando las piezas 10 y 11, que un perfil más bajo (que en principio permite un mejor acabado), provoca una mayor permeabilidad en la pieza. Sin embargo, esta afirmación no podemos hacerla todavía ya que únicamente tenemos un patrón de comparación, donde la diferencia no es muy grande, y el infill es de rejillas, que como ya hemos visto no es muy

La **pieza número 7** ha tenido un resultado de gran calidad, teniendo una permeabilidad del 2.74%. En futuras pruebas se realizarán piezas similares a ésta, cambiando el patrón del perfil [0.1 0.2] mm. De igual forma probaremos a variar el denominado como *Patrón 2*, que se corresponde con la forma de relleno de las caras superior e inferior. Este patrón actualmente se encuentra en forma de líneas, aunque suponemos que funcionará mejor en forma de zigzag, o de forma concéntrica.

Asimismo remarcar que no parece existir ninguna relación directa entre la masa de la pieza y su capacidad de permeabilidad. Es decir, no porque la pieza tenga más relleno (tienen las mismas dimensiones, por lo que más masa indica más relleno) significa que su permeabilidad va a ser mejor. Un claro ejemplo de este caso son las piezas con infill de tipo rejilla donde inicialmente se eligió este tipo de infill al rellenar más el interior de

la pieza, pero finalmente se obtenía un resultado poroso en el interior de las piezas. Ejemplo del caso opuesto es la pieza #13.

Piezas con spray anti-poros: A continuación, aplicaremos spray anti poros a las piezas anteriores, y repetiremos el experimento con los mismos parámetros y siguiendo los mismos pasos. De esta manera comprobaremos la eficacia de este tratamiento superficial, y veremos si se deberá de considerar para futuras pruebas.

#pieza	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	% <i>permabilidad</i>
3	14	9.096	65.35	64.579	1,82%
4	9.66	3.535	31.42	30.336	5,95%
5.1	9.832	3.32	32.869	32.548	1,63%
5.2	11.985	3.533	34.519	28.222	33,14%
6	10.254	3.724	33.46	32.26	6,16%
7	8,836	3,845	31,092	30,288	4,37%
8	11.387	3.064	31.072	31.072	100,00%
10	10.197	3.233	31.181	24.179	39,45%
11	10.582	3.326	32.15	30.757	7,64%
12	10.347	3.233	X	X	X
13	8.636	3.422	32.125	30.427	8.46%
To	19/03-1200	Tf	21/03-1100	error(%)	±0.025%

Tabla 2: Ensayo en piezas #3-#13 con anti-poros

Resultados:

	3	4	5.1	5.2	6	7	8	10	11	12	13
Limpia	12%	9.2%	8.9%	X	10%	4%	X	X	51%	X	67%
Antiporos	1.8%	6%	1.6%	33.1%	6.1%	4.37%	100%	39.4%	7.6%	X	8.5%

Tabla 3: Resumen de resultados piezas #3-#13

Al analizar la mejoría de las piezas tras introducirle el spray antiporos, observamos una clara diferencia en los resultados, en dónde si únicamente tomamos en cuenta las piezas que tienen una permeabilidad <45% (descartando las que serían completamente rechazadas), observamos una mejoría de media en torno al 6%, un gran resultado.

A pesar de ello continuamos sin conseguir la completa estanqueidad, objetivo principal de esta parte de la investigación, de este modo, trataremos de orientar el diseño de las futuras pruebas a piezas con características similares a las que presentan las piezas con mejores resultados en la tabla de arriba se encuentran marcadas las piezas que han conseguido los mejores resultados.

Ahora nos planteamos la siguiente cuestión ¿este tratamiento superficial funciona igual de bien para todos los diseños? ¿O existe un patrón de impresión que beneficie la futura aplicación del spray Anti-poros?

3.2. Segunda tanda de piezas

Una vez finalizada la primera tanda de piezas sacamos las conclusiones de que la pieza con número de referencia 7 porta una capacidad impermeable claramente superior a las demás. Por ello se decide realizar nuevas piezas con características similares a ésta para reducir un poco el rango de búsqueda de las propiedades óptimas de la pieza.

Para ello se han realizado modificaciones como la modificación del patrón de la base y la tapa, el porcentaje de infill, o el variar el patrón de infill de concéntrico a concéntrico-3D. Esta última modificación se ha realizado debido a que la pieza número 7, daba la sensación de tener unas paredes muy endebles, ya que el patrón concéntrico no rellenaba el hueco entre las dos paredes concéntricas del cuenco (figura 1). Con éste nuevo tipo de patrón, muy similar al concéntrico simple, se imprimen de vez en cuando capas de relleno que suponemos que ayudaran a la resistencia de la pieza. En la *figura 2* se puede observar únicamente las capas de relleno que se imprimen en la pieza, omitiendo las capas superficiales a la pieza (la verde y roja de la *figura 1*).

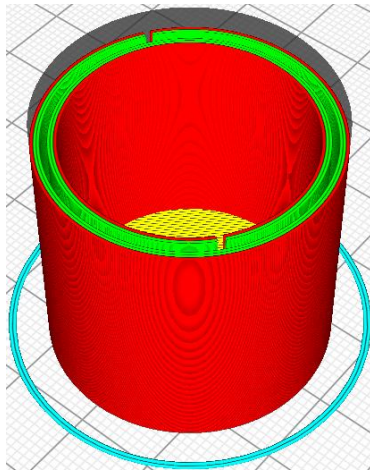


Figura 1: Infill concéntrico

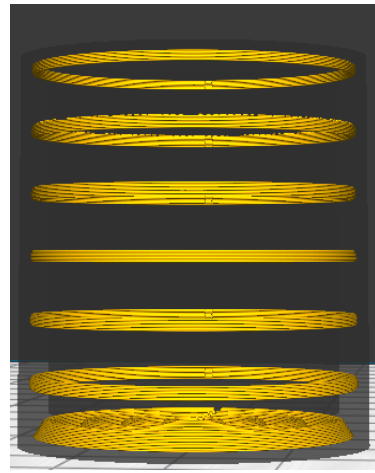


Figura 2: Infill concéntrico-3D

Piezas limpias: Los resultados obtenidos del ensayo se muestran a continuación.

#pieza	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	% <i>permabilidad</i>
14	9,252	3,513	30,566	28,361	7,21%
15	11,181	3,535	X	X	100,00%
16	8,104	3,238	30,023	26,465	11,85%
17	9,008	3,535	31,216	25,788	17,39%
18	8,98	3,728	31,92	26,614	27,62%
19	8,952	3,326	31,523	28,603	15,17%
20	9,333	3,334	31,528	26,504	26,64%
To	19/03-1200	Tf	21/03-1100	Error(%)	±0.023%

Tabla 4: Ensayo en piezas #14-#15 sin tratamiento

Resultados: La permeabilidad encontrada en las piezas es mayor a la que tomamos inicialmente de modelo (#7). Aun así, las propiedades mecánicas de la pieza sí que se han visto mejoradas, por lo que no todo es negativo. En cuanto a variar únicamente el patrón de los extremos, observamos que se la permeabilidad se distribuye de la siguiente manera:

Concéntrico<Línea<Zigzag. De esta forma, igual que el patrón de infill, el mejor patrón de superficies horizontales parece ser el concéntrico.

Piezas con spay anti-poros: Al aplicar el tratamiento superficial se obtuvieron los siguientes resultados.

#pieza	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	% <i>permabilidad</i>
14	9,58	3,462	30,573	28,871	9,71%
15	11,995	3,346	35,354	35,109	1,22%
16	8,504	4,308	31,146	28,788	12,86%
17	9,458	3,193	31,348	30,079	6,79%
18	9,429	4	31,854	30,599	6,81%
19	9,359	3,547	30,966	29,324	9,09%
20	9,881	4,248	32,548	32,138	2,23%
To	26/03-1900	Tf	28/03-1900	error	$\pm 0.025\%$

Tabla 5: Ensayo en piezas #14-#20 con anti-poros

Resultados: Para analizar los resultados, los introducimos en una tabla para compararlos con el comportamiento que presentan las mismas piezas sin el tratamiento antiporos.

	14	15	16	17	18	19	20
Limpia	7.21%	100%	11.85%	17.39%	27.62%	15.17%	26.64%
Antiporos	9,71%	1.22%	12.86%	6.79%	6.81%	9.09%	2.23%

Tabla 6: Resumen de resultados piezas #14-#20

El primer resultado que salta a la vista es la increíblemente grande mejoría de la pieza #15. Esta pieza fue impresa con el extrusor “defectuoso” de la impresora, y presentaba una rugosidad muy alta a la vista, por lo que el resultado del ensayo con la pieza sin tratamiento era esperado. Sin embargo, tras la aplicación del spray antiporos, ha pasado a ser la pieza con mejor impermeabilidad. Como particularidad de esta pieza, está impresa con **PET-G**, por lo que es posible que el tratamiento funcione mejor en las piezas con este material que con ABS.

En cuanto al patrón de infill **Concéntrico-3D**, los resultados obtenidos son peores de los esperados, la permeabilidad de las piezas es mayor respecto a aquellas con patrón concéntrico simple, tanto con tratamiento como sin él. Por ello descartaremos este patrón para futuras pruebas.

Por otra parte la pieza #16, presenta unos resultados extraños, en donde por primera vez, la pieza con tratamiento superficial es más permeable que la misma sin él.

3.3. Tercera tanda de piezas:

Dado que en el anterior experimento los resultados obtenidos para el material PET-G fueron tan buenos tras aplicarle el spray antiporos, vamos a realizar otro ensayo con la finalidad de comprobar la hipótesis de que el spray antiporos tiene una mayor efectividad ante piezas de este material que el ABS. Para ello imprimiremos 10 nuevas piezas variando distintos parámetros, y probando consejos encontrados en otros estudios.

En un estudio en el que se observaba la impermeabilidad de las piezas impresas en 3D, se encontró que ésta aumentaba a medida que se aumentaba el flujo del filamento a lo largo del extrusor. De esta manera, al extruir más material del necesario, los poros se

rellenan mejor. En su estudio recomendaban aumentar el porcentaje de flujo a un 120%, por lo que nosotros hemos realizado pruebas con diversos valores entre 100% y 130%. Además, en el mismo estudio, afirmaban que la geometría que mejor se comporta ante la impermeabilidad es la cilíndrica, lo que aunque no nos aporta nuevos datos, nos indica que la geometría escogida es correcta.

En otra fuente, se afirmaba que en la configuración VASE las propiedades impermeables del material mejoraban igualmente. La configuración VASE, se trata de un modo de impresión en donde la pared lateral tiene el grosor de un único filamento, lo que permite que la extrusión sea continua e ininterrumpida, evitando los microporos formados en las costuras de la pieza.

Piezas limpias: Al realizar este ensayo sobre un nuevo lote de piezas, todas del material PET-G, obtuvimos los resultados mostrados a continuación.

#pieza	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	% <i>permabilidad</i>
21	11,483	3,534	34,807	34,086	3,64%
22	14,064	3,066	35,638	34,72	4,96%
23	10,969	4,258	x	x	100,00%
24	11,705	3,723	34,685	32,785	9,87%
25	3,793	3,85	34,92	32,165	10,10%
26	4,269	3,236	34,473	32,322	7,98%
27	12,96	3,533	36,667	32,159	22,35%
28	11,896	3,318	36,789	20,32	76,33%
29	13,212	3,326	36,88	30,685	30,45%
30	4,401	3,51	33,864	31,442	9,33%
To	26/03-1900	Tf	28/03-1900	error	±0.021%

Tabla 7: Ensayo en piezas #21-#30 sin tratamiento

Resultados: Inicialmente parece que nos encontramos con unos resultados peores de lo habitual. Al comparar las piezas #24, #27, #28 y #29, nos encontramos con que el mejor resultado obtenido es para la pieza con flujo 100% (el que sería flujo por defecto). En cuanto al VASE mode, aunque los resultados son mejores que los anteriores, no ofrecen valores fuera de lo normal. Sin embargo, todavía queda analizar las piezas con el tratamiento rellena poros.

Piezas con spray anti-poros: Aunque todas las piezas son del material PETG, hay que recordar que estos ensayos nos sirven del mismo modo para comparar distintos parámetros de la impresión, no solo el material.

#pieza	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	% <i>permabilidad</i>
21	12,009	3,322	34,244	33,748	2,62%
22	14,704	3,517	37,23	36,128	5,80%
23	11,85	3,899	34,966	34,348	3,22%
24	12,338	3,324	34,594	32,773	9,62%
25	4,176	3,244	34,747	33,572	4,30%
26	4,698	3,858	35,808	34,547	4,63%
27	13,509	3,073	37,481	36,063	6,79%
28	12,401	3,428	36,637	35,632	4,83%

29	13,725	4,998	39,515	38,02	7,19%
30	4,757	5,191	37,158	35,585	5,78%
To	01/04-1100	Tf	01/04-1100	Error(%)	±0.021%

Tabla 8: Ensayo en piezas #21-#30 con anti-poros

Resultados: Igual que con las piezas impresas con ABS, el spray antiporos mejora la capacidad estanca de las piezas, sin embargo, la hipótesis de que el spray antiporos realizaba unos mejores acabados con piezas de PETG que con ABS, no parece comprobarse en el ensayo, donde las piezas sí que mejoran, pero obtenemos unos resultados similares al otro material. Como información la permeabilidad media de las piezas con spray antiporos (con patrón concéntrico) del material ABS es del 9.344% con una desviación típica del 9.0%. Los mismos valores para las piezas de PETG es de 5.16% con una desviación típica del 2.57%. Es por ello que aunque podríamos decir que el PETG puede funcionar un poco mejor, teniendo en cuenta la desviación, ambos materiales dan resultados parecidos.

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Limpia	3.6%	5%	100%	9.9%	10%	8%	22%	76%	30%	9.3%
Antiporos	2.6%	5.8%	3.2%	9.6%	4.3%	4.6%	6.8%	4.8%	7.2%	5.8%

Tabla 9: Resumen de resultados piezas #21-#30

Descartando la hipótesis inicial, parece existir un patrón en donde las piezas que inicialmente fugan por completo, tras la aplicación del rellenaporos terminan siendo de las que mejor se comportan. Esto se puede ver en la pieza #23, así como en las anteriores piezas #15 y #20. Un posible motivo puede ser que las piezas presentan algún único poro de tamaño relativamente grande por el que fugan, y el tratamiento que se le aplica, cierra ese orificio, produciendo un gran resultado final. Otro motivo puede ser que aquellas con superficies más rugosas (como el caso de #15), presentan una mayor superficie de adhesión para el tratamiento, y aunque por ese motivo contiene una mayor cantidad de poros (y por ello obtiene un peor resultado en la prueba de pieza limpia), al aplicarle el tratamiento estos poros se sellan junto con aquellos de tamaño similar al del resto de piezas.

Otro resultado es que podemos afirmar definitivamente que el modo de impresión VASE, no tiene ningún tipo de resultado diferente, al igual que #30, que junto al modo VASE, tiene un mayor ancho de línea, lo que supusimos erróneamente que supondría unos mejores resultados.

Por último comparamos el resultado obtenido para las piezas en las que se ha variado el flujo (#24, #28, #27 y #29, de menor a mayor cantidad de flujo). Observamos que respecto al anterior ensayo, las piezas han mejorado significativamente su rendimiento, en especial #28, que (otra vez) era la pieza que peor resultado había generado en el ensayo de pieza sin tratamiento.

La pieza #24, cuyos parámetros son similares a la pieza #7 pero con material distinto, no presenta diferencias de estanqueidad al aplicarle el tratamiento rellenaporos. Este resultado fue similar para la pieza #7, en donde el tratamiento no mostró ninguna mejora remarcable. Esto es posible que se deba a que el acabado superficial de la pieza es tan liso que el revestimiento no sea capaz de adherirse a la superficie correctamente. Esta

suposición explicaría tanto el buen comportamiento de la pieza sin ningún tratamiento como su escasa mejora tras el mismo.

3.4. Cuarta tanda de piezas

Para terminar el ensayo, realizaremos una prueba a dos piezas más. Para la primera pieza se ha decidido utilizar un modo experimental que proporciona el slicer de CURA, en el que las paredes exteriores las imprime con una rugosidad, de manera que las superficies tienen un aspecto desigual y rugoso. Esto es posible que ayude a la adhesión de tratamiento posterior que las piezas están recibiendo, por los motivos nombrados en el anterior apartado.

A la segunda pieza se le ha vuelto a modificar el grosor. Tras los resultados obtenidos en la primera tanda de piezas, afirmamos que aquellas piezas que contaban con un espesor de pieza de 3mm funcionaban mejor que aquellas con 2,4mm de espesor. Además, afirmamos que el grosor de la pared tampoco parecía tener una mayor influencia en la permeabilidad. Para comprobar estas afirmaciones hemos decidido probar con una pieza que tiene espesor de 4.4mm, y a la cual se ha establecido que tenga una pared de 2mm interiores más otros 2mm de la pared exterior. Al ser una pared tan gruesa además, se aumentaron las dimensiones del cilindro a 40mm de diámetro (manteniendo la altura, ya que esta determina la presión inicial de la pieza).

Los resultados obtenidos para estas piezas son los siguientes:

#pieza	Tratamiento	$m_{pieza}(g)$	$m_{recubrimiento}(g)$	$m_0(g)$	$m_f(g)$	%permeabilidad
31	Ninguno	X	X	X	X	100%
32	Ninguno	20,198	4,258	48,503	39,575	37,13%
31	Anti-poros	12,636	3,329	35,2	31,759	17,89%
32	Anti-poros	21,551	5,19	48,495	48,177	1,46%

Tabla 10: Resultados piezas #31 y #32 con y sin tratamiento

4. Mejores resultados y conclusiones

A continuación analizaremos las piezas que han probado los mejores resultados, mostrando las conclusiones obtenidas tras la realización del ensayo.

#pieza	Dimensiones	%Infill	Pared	Patrón de z		%Liso	%Anti-poros
#3	47x35x2	20%	1,6	Línea		11,81%	1,82%
#5.1	35x35x2,4	20%	1,2	Línea		8,92%	1,63%
#7	35x35x3	20%	1,2	Línea		4,00%	4,37%
#14	35x35x2,4	100%	1,6	Zigzag		12,39%	9,71%
#15	35x35x2,4	35%	1,2	Concéntrico		100,00%	1,22%
#19	35x35x3	20%	1,2	Concéntrico		15,17%	9,09%
#20	35x35x3	30%	1,2	Línea		26,64%	2,23%
#21	35x35x3	30%	1,2	Línea		3,64%	2,62%
#23	35x35x3	30%	1,2	Concéntrico		100,00%	3,22%
#25	35x35x3	20%	1,2	VASE		10,10%	4,30%
#32	40x35x4.4	30%	2	Concéntrico	Difuso	37.13%	1,46%

Tabla 11: Mejores resultados en el ensayo

Todas las piezas utilizan patrón de infill concéntrico y su flujo del filamento es del 100% (el establecido por defecto). Del mismo modo, a pesar de que no todas utilizan el mismo material, como hemos comentado antes, no parece que este influya mucho en el resultado de la misma, y por eso no se muestra en la tabla.

Aunque la mayoría de piezas tienen una altura de capa de 0.15, no se considera que sea un parámetro relevante, ya que es la altura más usada en las pruebas, y al analizar con una tabla dinámica los resultados, observamos que los resultados no parecen seguir un patrón con respecto al perfil utilizado.

Un resultado no esperado, y que se considera de importancia, es el observar como para piezas que presentan un rendimiento muy bajo sin haberlas realizado ningún tratamiento, una vez se le aplica el spray rellenedor de poros, su rendimiento aumenta muy por encima de la media de incluso las piezas que inicialmente daban un buen resultado. El motivo que podemos dar a esta consecuencia es que el tratamiento se aplica mejor en piezas de una rugosidad alta, de manera que al crear poros más gruesos intencionadamente, se crean menos de tamaño reducido. Y con el tratamiento que se aplica, estos poros de mayor tamaño son más fácilmente sellados. Esta teoría se puede corroborar con el rendimiento de la pieza #32, que se imprimió con el “modo difuso” de CURA, técnica por la que las paredes exteriores del material tienen una gran rugosidad.

El grosor interior y exterior de la pared parece no ser un factor determinante a la hora de impermeabilizar la pieza. No obstante, sí que debería de considerarse este valor a la hora de pensar en el factor estructural de la misma, ya que como se pudo observar en los diversos ensayos realizados inicialmente, si el espacio entre ambas paredes es suficientemente pequeño como para que no se imprima infill/relleno, y la altura de la pieza es elevada, se crean paredes susceptibles al pandeo.

Finalmente, destacar que en ningún caso se ha logrado hacer nula la permeabilidad de la pieza. Aunque se haya logrado reducir hasta a un 1.22% .

Tabla de propiedades de impresión del ensayo de permeabilidad

Referencia	Espesor de pieza	Material	Altura de capa	Flujo	T_cama	T_extrusor	%infill	Patrón infill	Grosor pared	Grosor sup/inf	Patrón sup/inf	Velocidad (mm)	Acabado superficial	%Liso	%Anti-poros
3	2	ABS	0,15	100%	90	240	20%	Concentrico	1,6	0,75	Linea	60	7	11,81%	1,82%
4	3	ABS	0,15	100%	85	240	20%	Concentrico	1,6	0,75	Linea	65	8	9,17%	5,95%
5,1	2,4	ABS	0,15	100%	85	240	20%	Concentrico	1,2	0,75	Linea	65	8,5	8,92%	1,63%
5,2	2,4	ABS	0,15	100%	85	240	20%	Concentrico	1,2	0,75	Linea	65	4	100,00%	33,14%
6	2,4	ABS	0,2	100%	80	235	20%	Concentrico	1,5	0,75	Linea	70	6	9,98%	6,16%
7	3	ABS	0,15	100%	85	235	20%	Concentrico	1,2	0,75	Linea	65	8	4,00%	4,37%
8	3	ABS	0,15	100%	85	235	20%	Lineas	1,2	0,75	Linea	65	6,5	100,00%	100,00%
10	3	ABS	0,15	100%	85	250	20%	Rejillas	1,2	0,75	Linea	65	7	100,00%	39,45%
11	3	ABS	0,1	100%	85	250	20%	Rejillas	1,2	0,75	Linea	50	8,5	50,92%	7,64%
12	3	ABS	0,15	100%	85	250	20%	Rejillas	1,2	0,75	Linea	65	8	100,00%	100,00%
13	2,4	ABS	0,1	100%	85	245	20%	Concentrico	1,2	0,5	Linea	60	8	67,52%	8,46%
14	2,4	ABS	0,1	100%	85	245	100%	Concentrico	1,6	0,5	ZigZag	50	8,5	12,39%	9,71%
15	2,4	PETG	0,15	105%	80	240	35%	Concentrico	1,2	0,75	Concentrico	25	5	100,00%	1,22%
16	3	ABS	0,15	100%	85	235	20%	Concentrico	1,2	0,75	Linea	65	9	19,05%	12,86%
17	3	ABS	0,15	100%	85	235	20%	Concentrico 3D	1,2	0,75	Linea	65	7,5	29,07%	6,79%
18	3	ABS	0,15	100%	85	235	20%	Concentrico 3D	1,2	0,75	ZigZag	65	7,5	27,62%	6,81%
19	3	ABS	0,15	100%	85	235	20%	Concentrico 3D	1,2	0,75	Concentrico	65	7,7	15,17%	9,09%
20	3	ABS	0,15	100%	85	235	30%	Concentrico 3D	1,2	0,75	Linea	65	8	26,64%	2,23%
21	3	PETG	0,15	100%	80	235	30%	Concentrico	1,2	0,75	Linea	50	9,5	3,64%	2,62%
22	3	PETG	0,15	100%	80	235	20%	Concentrico	1,5	0,75	Concentrico	50	8,5	4,96%	5,80%

Todas las unidades están en mm

23	3	PETG	0,2	100%	80	235	30%	Concentrico	1,2	0,75	Concentrico	50	8	100,00%	3,22%
24	3	PETG	0,1	100%	80	235	30%	Concentrico	1,2	0,75	Concentrico	50	8	9,87%	9,62%
25	3	PETG	0,3	100%	85	223	20%	VASE	1,2	2,1	VASE	40	9	10,10%	4,30%
26	3	PETG	0,3	120%	85	223	20%	VASE	1,2	2,1	VASE	40	8	7,98%	4,63%
27	3	PETG	0,3	120%	85	223	100%	Concentrico	1,2	0,75	Concentrico	40	8	22,35%	6,79%
28	3	PETG	0,3	110%	85	223	100%	Concentrico	1,2	0,75	Concentrico	40	8	76,33%	4,83%
29	3	PETG	0,3	130%	85	223	100%	Concentrico	1,2	0,75	Concentrico	40	8	30,45%	7,19%
30	3	PETG	0,3	100%	85	223	20%	VASE	1,2	2,1	VASE	40	8,5	9,33%	5,78%
31	4	PETG	0,15	100%	85	230	20%	Concentrico	1,2	2,1	Concentrico	50	X	100,00%	1,46%
32	4,4	PETG	0,15	100%	85	223	30%	Concentrico	2	0,9	Concentrico	50	8,5	37,13%	17,89%

Todas las unidades están en mm

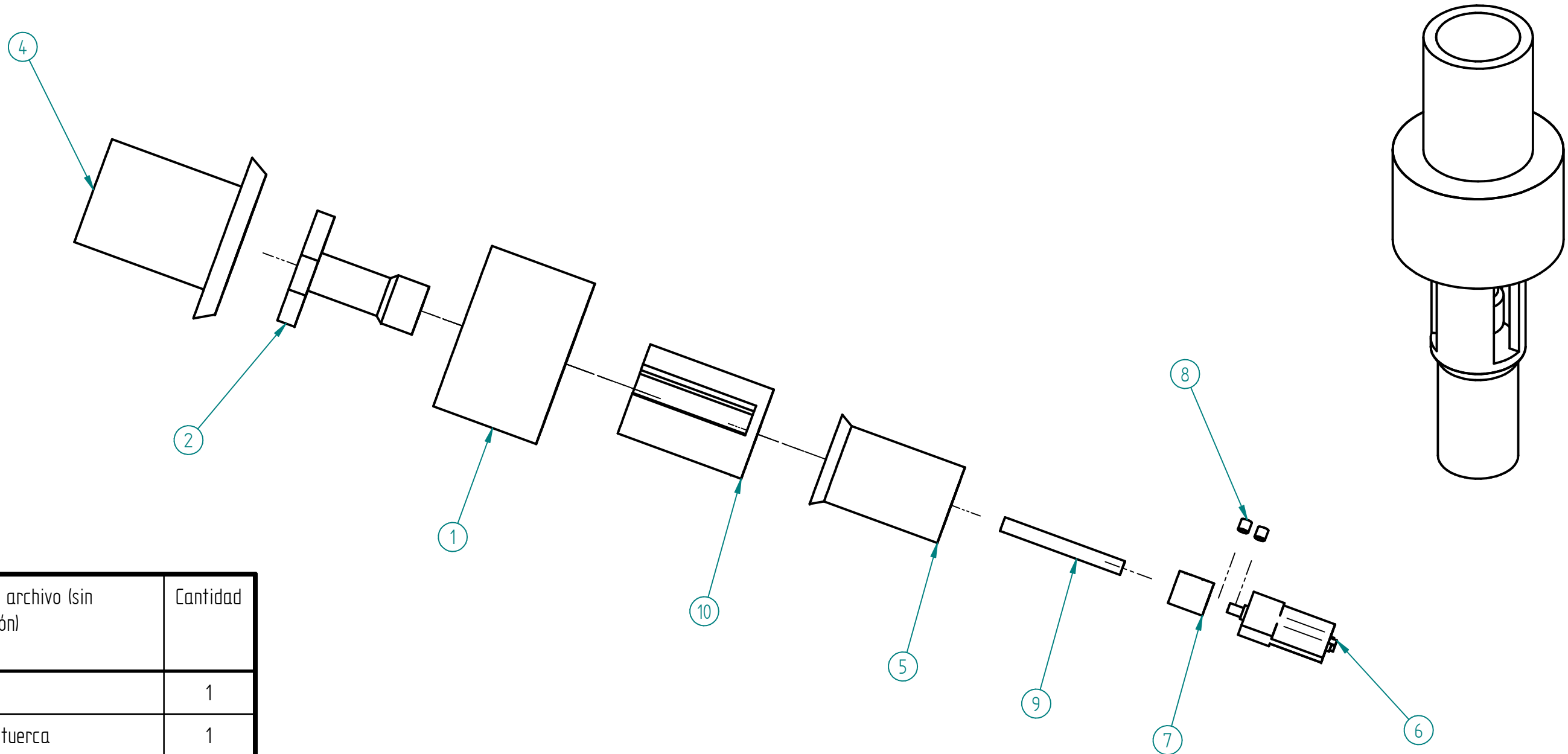
ANEXO II: PLANOS

En este documento se muestran los planos de las siguientes piezas:

1. Explosionado e isométrico de la válvula
2. Tapa
3. Pistón
4. Carcasa
5. Separador
6. Encastre del motor
7. Acoplador rosca-motor

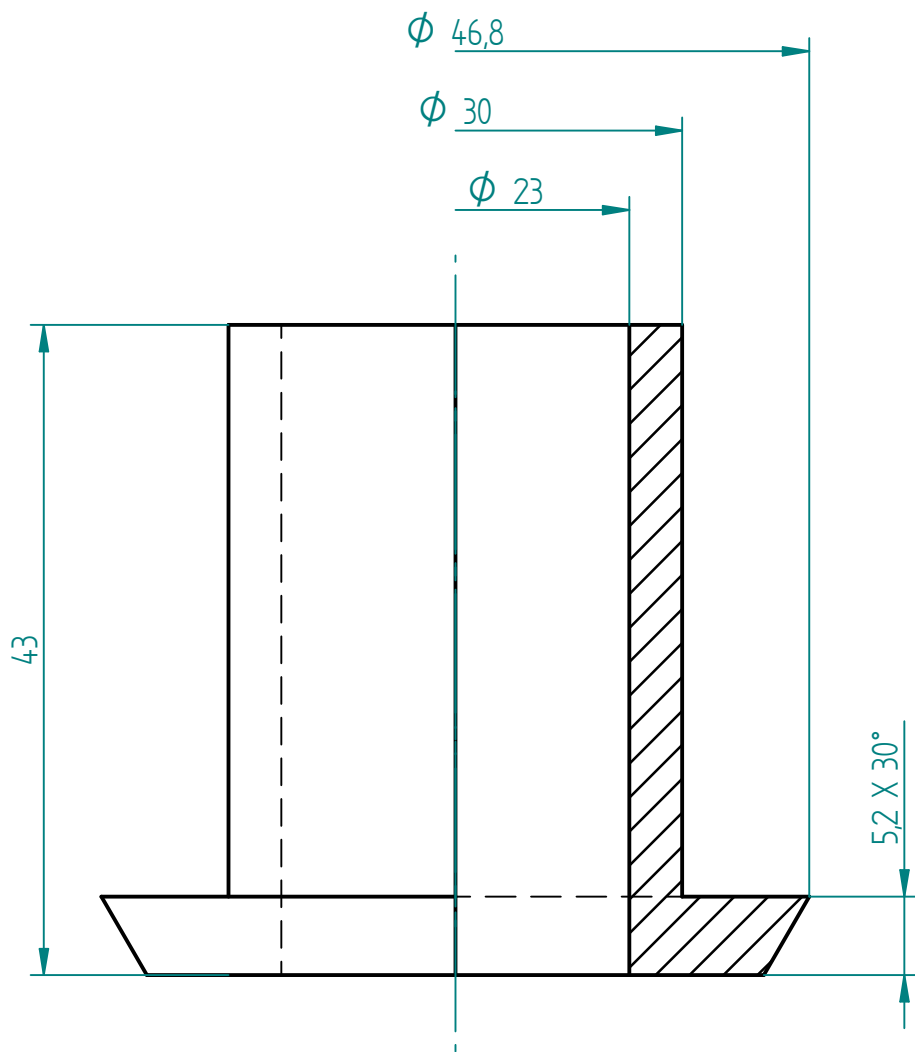
Considerar que los planos del Explosionado e isométrico de la válvula (1) y el pistón (3) se encuentran diseñados en formato DIN A3.

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

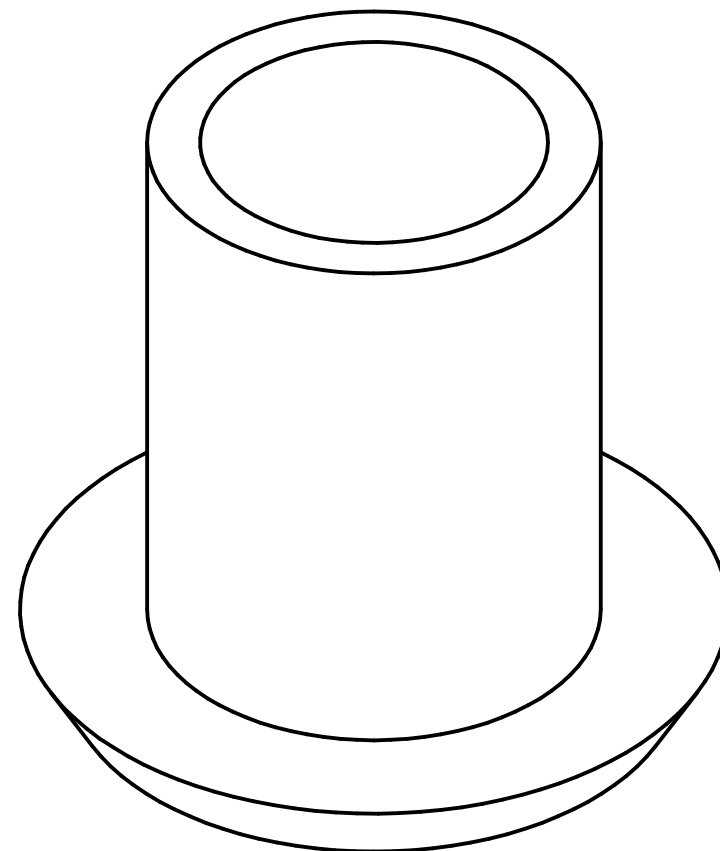


Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Cantidad
1	cuenco	1
2	piston_tuerca	1
3*	tuerca	1
4	tapa	1
5	sujetamotor	1
6	motor	1
7	acoplador	1
8	tornillo_acoplador	2
9	rosca	1
10	separador	1

Nombre		ANEXO II		
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara	PLANOS DE LA VÁLVULA		
Comprobado		Título		
Aprobado I		EXPLOSIONADO E ISOMÉTRICO DE LA VÁLVULA		
Aprobado 2		A3	Plano I	Rev
cotas en milímetros		Archivo: plano_Explosionados.dft		
		Escala 4:5	Peso	Hoja 1 de 1



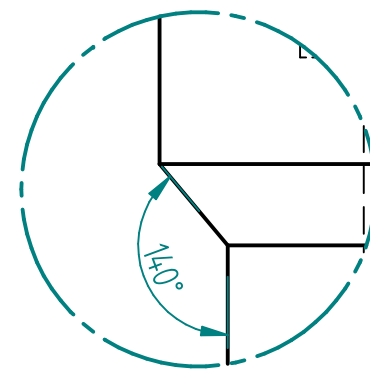
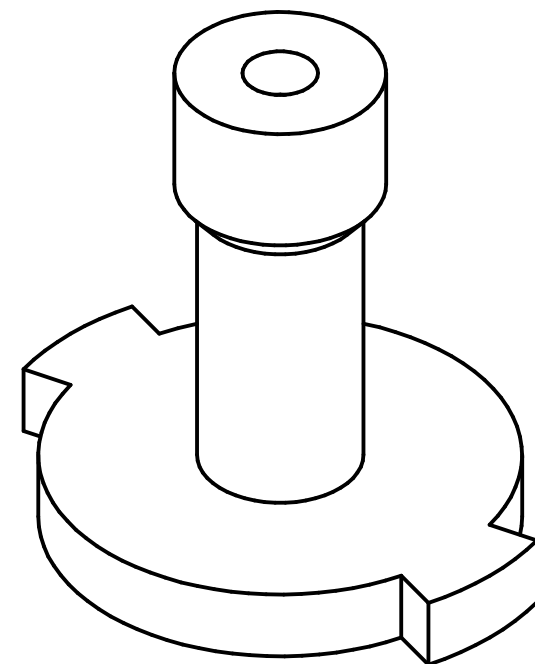
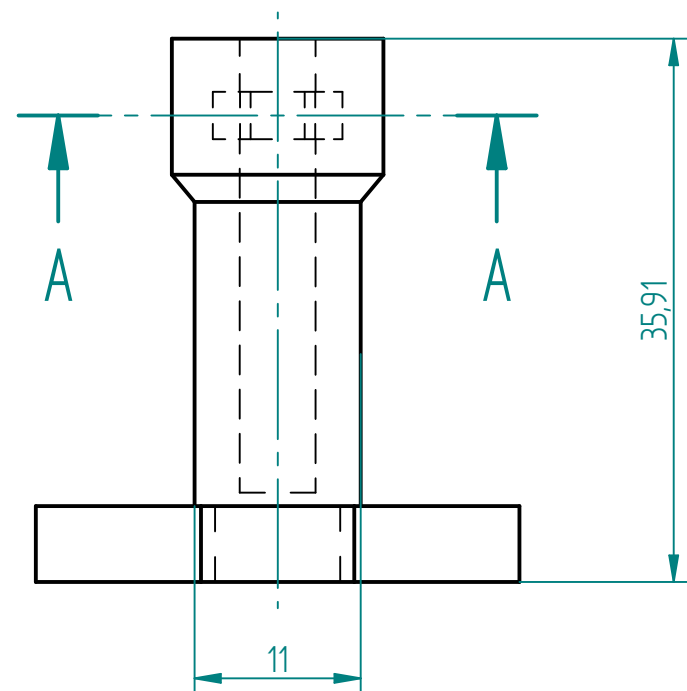
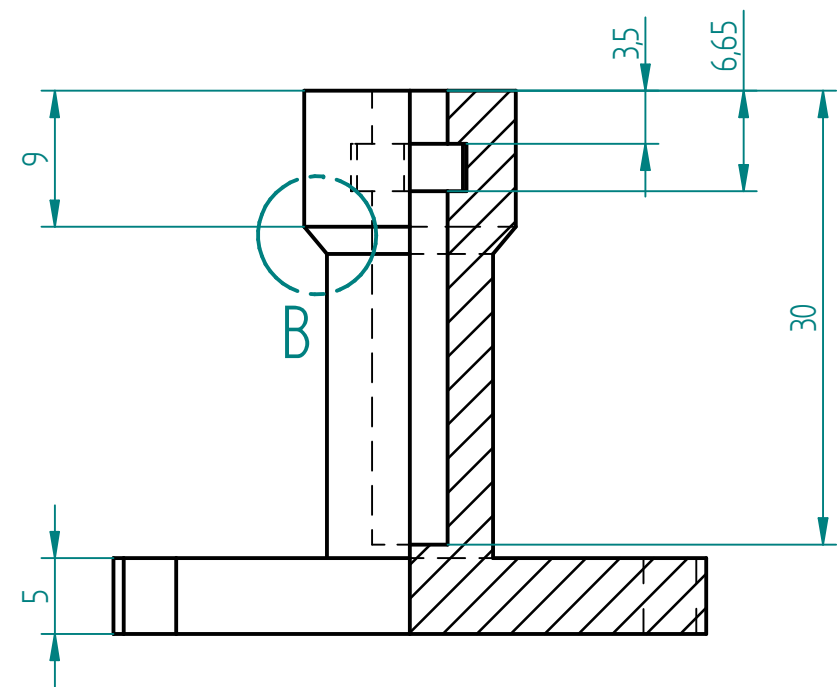
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



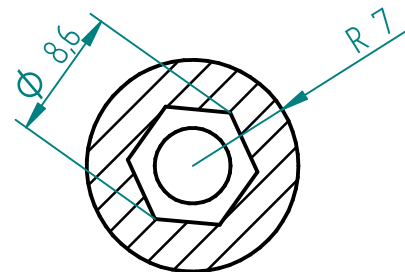
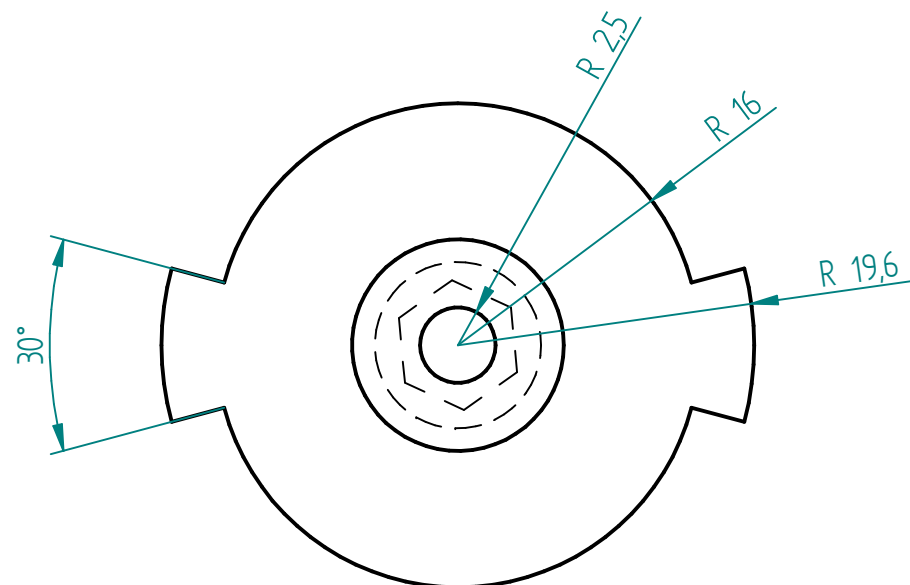
Nombre		ANEXO II	
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara		
Comprobado		PLANOS DE LA VÁLVULA	
Aprobado 1		Título	
Aprobado 2		Tapa	
Cotas en milímetros Tolerancias ±0,4		A4	Plano II Rev
		Archivo: Plano_tapa.dft	
		Escala 2:1	Peso Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

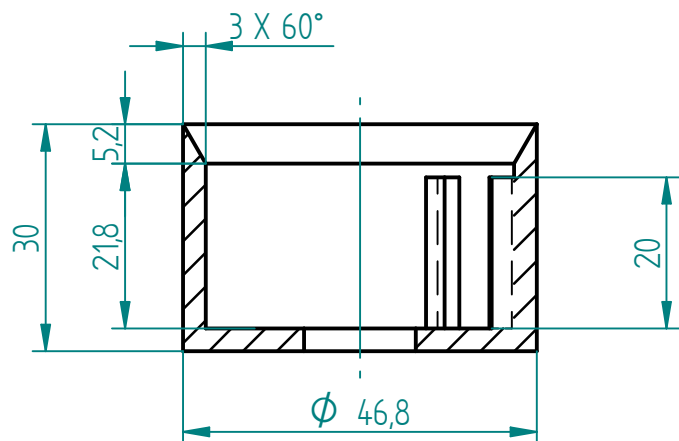


DETALLE B

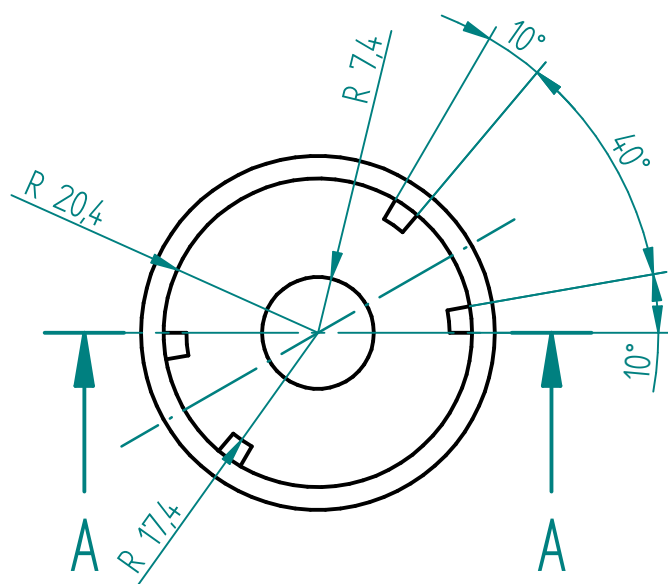


CORTE A-A

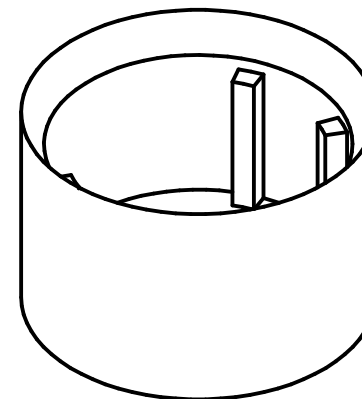
Nombre		ANEXO II PLANOS DE LA VÁLVULA	
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara		
Comprobado		Título Pistón	
Aprobado 1			
Aprobado 2		A3 Plano III Rev	
Cotas en milímetros Tolerancias ±0,4		Archivo: Plano_pistón.dft	
		Escala 2:1	Peso Hoja 1 de 1



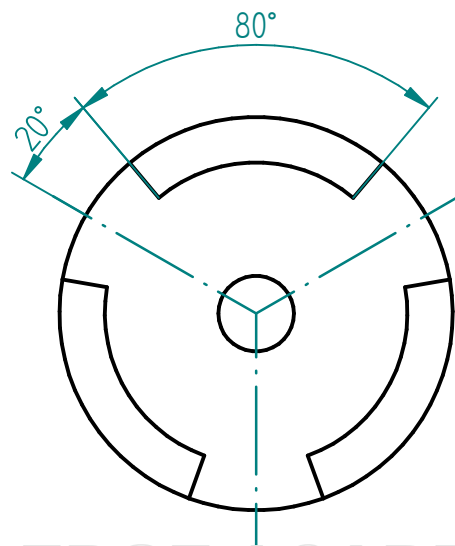
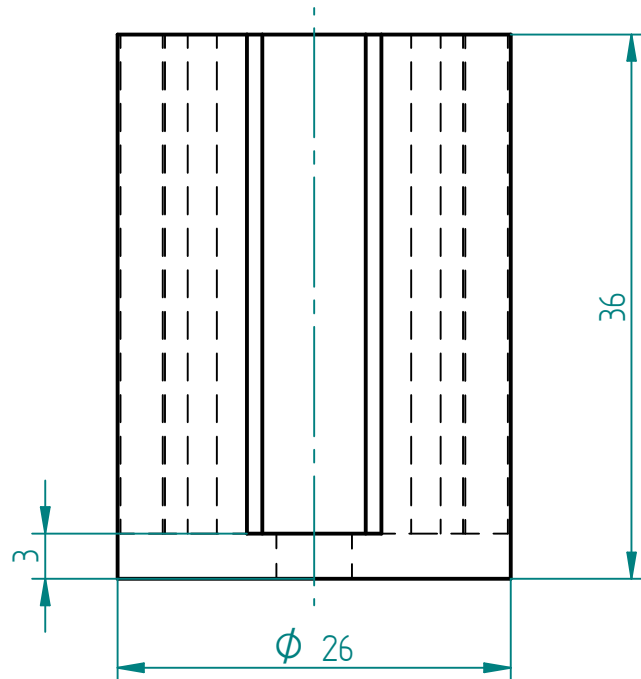
CORTE A-A



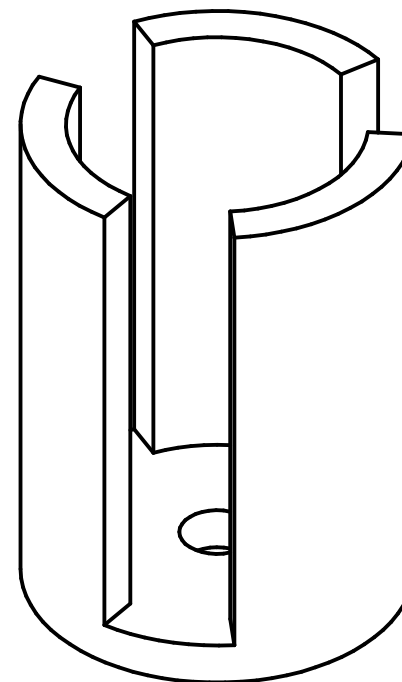
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	ANEXO II		
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara	PLANOS DE LA VÁLVULA		
Comprobado		Título Carcasa		
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Cotas en milímetros Tolerancias ±0,4		A4	Plano IV	Rev
		Archivo: Plano_carcasa.dft		
		Escala 1:1	Peso	Hoja 1 de 1



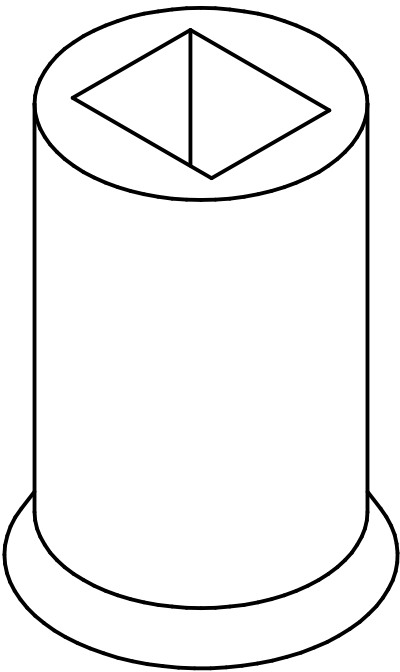
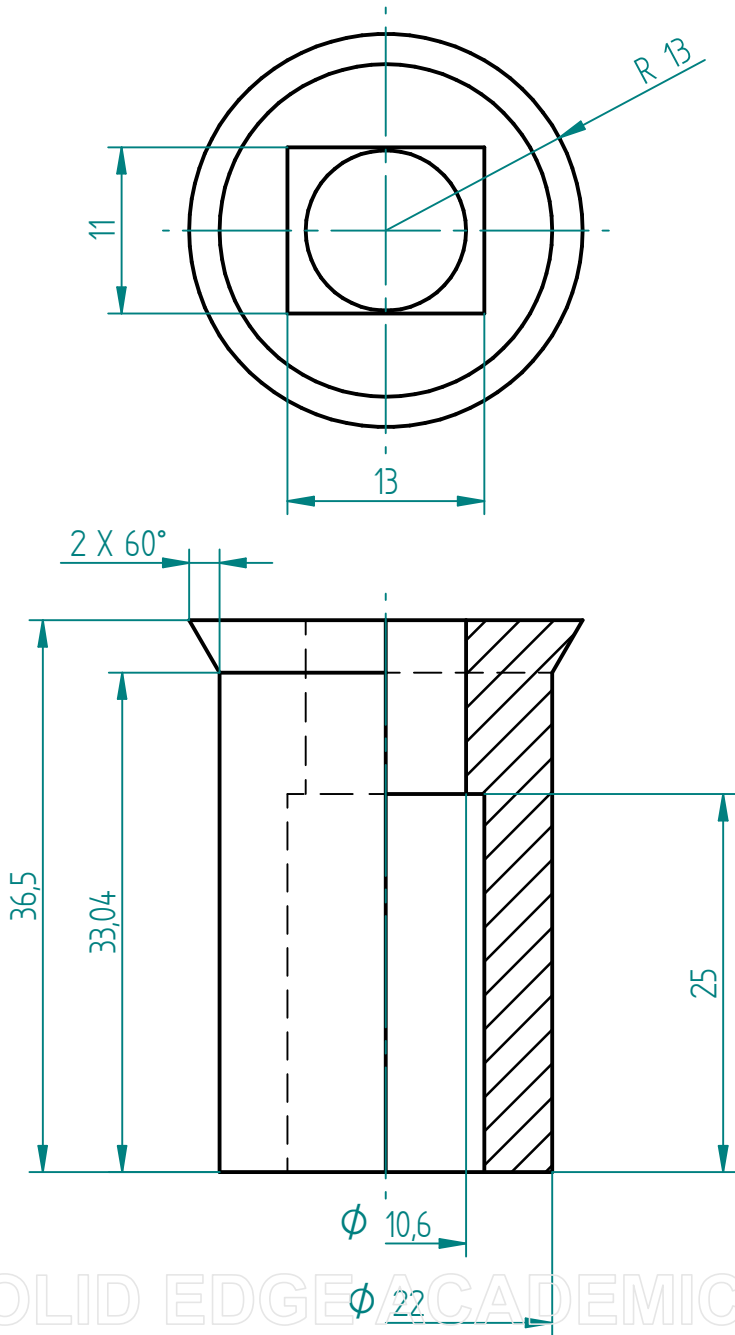
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre		ANEXO II	
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara		
Comprobado		PLANOS DE LA VÁLVULA	
Aprobado 1		Título	
Aprobado 2		Separador	
Cotas en milímetros Tolerancias ±0,4		A4	Plano
		V	
		Rev	
		Archivo: Plano_separador.dft	
		Escala 2:1	Peso
		Hoja 1 de 1	

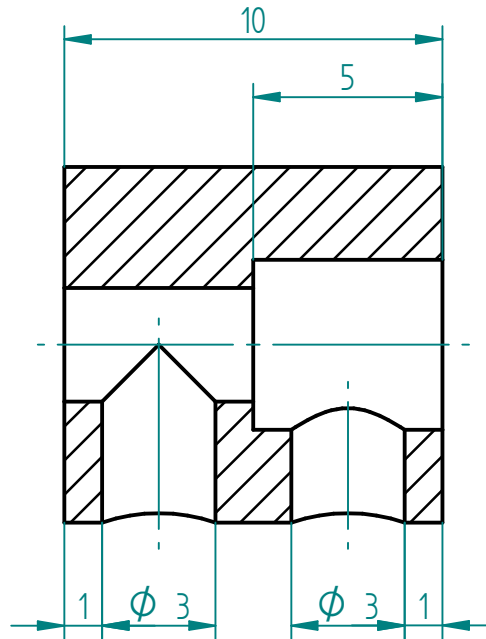
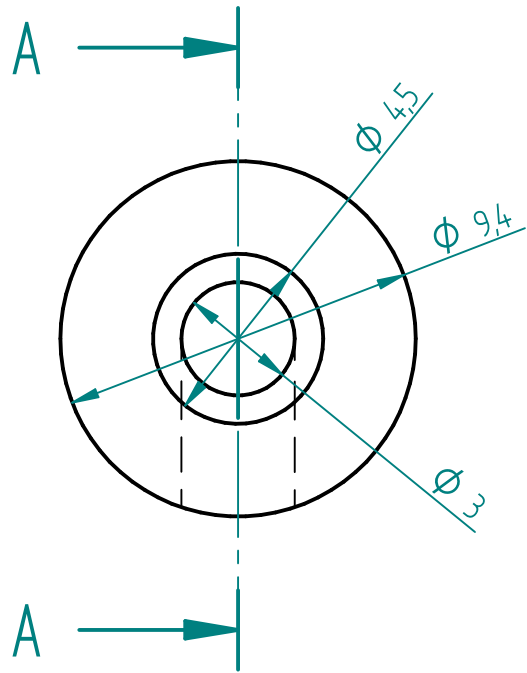
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

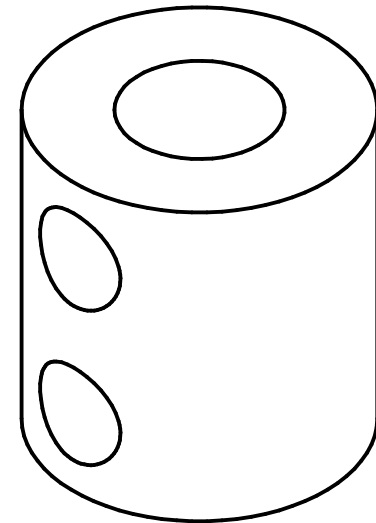


Nombre		ANEXO II PLANOS DE LA VÁLVULA		
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara			
Comprobado		Título Encastre del motor		
Aprobado I				
Aprobado 2		A4 Plano VI Rev		
Cotas en milímetros Tolerancias $\pm 0,4$		Archivo: Plano_encastre.dft		
		Escala 2:1	Peso	Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



CORTE A-A



	Nombre	ANEXO II PLANOS DE LA VÁLVULA		
Dibujado	Jose María Moreno Ivañez de Lara			
Comprobado		Título Acoplador rosca-motor		
Aprobado 1				
Aprobado 2		A4PlanoVIIRev Archivo: Plano_acoplador.dft Escala 5:1PesoHoja 1 de 1		
Cotas en milímetros Tolerancias ±0,4				

Anexo III: Código de motor

```
//Este código consiste en el funcionamiento de una electroválvula
diseñada por Jose María Moreno Ivañez de Lara
//para su trabajo de fin de grado sobre el diseño e implementación de
una electroválvula casera.

//Los componentes utilizados, con sus respectivas hojas de datos o
datasheets son los siguientes

//      Motor DC con reductora: https://docs-emea.rs-
online.com/webdocs/107d/0900766b8107d25d.pdf.

//      Dos relés tq2-l2-5v:
https://www.verical.com/datasheet/panasonic-signal-relays-TQ2-L2-5V-
122853.

//el funcionamiento del código es de la siguiente manera: cuando se
reciba una señal de abrir la válvula (simulada por medio de un
interruptor en el
//pin pSignalA), dos relés se activaran, dejando correr 5V en una
dirección. Si por el contrario se activase otra señal que indicase la
//necesidad de cerrar la válvula (simulada con el pin pSignalC), los
5V se dejan correr en otro sentido mediante el cierre del circuito
//con los mismos relés, de forma distinta.

//el código lleva, como seguridad, un track de la posición de la
válvula mediante el valor de una variable "posición" (1 válvula
cerrada,
//0 válvula abierta), de manera que si la válvula este abierta y se
recibe la instrucción de abrir la válvula, la orden se ignorará.

//No obstante si se mantiene la señal de cerrar pistón durante un
periodo prolongado, se detectará que se encuentra en un caso especial
// Como que se está introduciendo el pistón por primera vez, o que no
se ha realizado la acción de abrir/cerrar correctamente
//en este caso se habilitará la acción a realizar

//*****
*

/*El los relés graban la posición de forma permanente una vez se
coloca en la posición deseada
* De manera que si queremos activar el circuito durante unos segundos
deberemos,
* activar el relé en la posición deseada
* esperar el tiempo deseado
* Y volver a colocar en la posición neutra
*/

int t=7;//tiempo en secs de la activación del motor
int texcep=1000;//tiempo para confirmar excepción de cierre en ms

int pos=0; //posición inicial de la válvula (abierta=0; cerrada=1;

//pines de las bobinas de los relés
int p1=9;
int p2=10;
int p3=11;
int p4=12;
```

```

//pines de las señales falseadas
int pSignalA=7;
int pSignalC=8;

void abrir(void);
void cerrar(void);
void neutro(void);
void zero(void);

/*****
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(pSignalA, INPUT); //pin para cerrar
    pinMode(pSignalC, INPUT); //pin del interruptor de apertura
    pinMode(p1, OUTPUT); //pin del motor
    pinMode(p2, OUTPUT); //pin del motor
    pinMode(p3, OUTPUT); //pin del motor
    pinMode(p4, OUTPUT); //pin del motor
}
*****/
void loop() {

    if(digitalRead(pSignalA)==HIGH){ //abrir la válvula si se desea y
esta cerrada
        if(pos==1){
            abrir();
            delay(t*1000);

            //ahora la válvula esta abierta
            pos=0;
        } else {
            delay(texcep); //confirmacion de excepcion
            while(digitalRead(pSignalA)==HIGH) {
                abrir();
            }
        }
        neutro();
        delay(25);
        zero();
    }

    if(digitalRead(pSignalC)==HIGH){ //cerrar la válvula si se desea y
esta abierta
        if (pos==0){
            cerrar();
            delay((t+1)*1000);

            //ahora la válvula esta cerrada
            pos=1;
        } else{
            delay(texcep); //confirmación de excepción
            while(digitalRead(pSignalC)==HIGH) {
                cerrar();
            }
        }
        neutro();
        delay(25);
        zero();
    }
}

```



```
}

/*****
void neutro (void) {
    digitalWrite(p1,HIGH);
    digitalWrite(p3,HIGH);

    digitalWrite(p4,LOW);
    digitalWrite(p2,LOW);
}

void abrir (void){
    digitalWrite(p1,HIGH);
    digitalWrite(p4,HIGH);

    digitalWrite(p2,LOW);
    digitalWrite(p3,LOW);
}

void cerrar (void){
    digitalWrite(p2,HIGH);
    digitalWrite(p3,HIGH);

    digitalWrite(p1,LOW);
    digitalWrite(p4,LOW);
}

void zero(void) {
    digitalWrite(p1,LOW);
    digitalWrite(p2,LOW);
    digitalWrite(p3,LOW);
    digitalWrite(p4,LOW);
}
```